

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

FONCTIONS EXÉCUTIVES CHEZ LES ENFANTS D'ÂGE PRÉSCOLAIRE :
LIEN AVEC LA RÉUSSITE SCOLAIRE ULTÉRIEURE ET ASSOCIATION
AVEC LES COMPORTEMENTS DE TYPE EXTERNALISÉS

THÈSE

PRÉSENTÉE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DU DOCTORAT EN PSYCHOLOGIE

PAR

SÉBASTIEN MONETTE

JUILLET 2012

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de cette thèse se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, je remercie ma conjointe, Marie-Eve, pour sa patience et son support durant ce long périple. Ensuite, ma famille et mes amis pour être présents dans ma vie.

Un merci très spécial à mon directeur de thèse, M. Marc Bigras, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible. Je garderai de bons souvenirs de nos discussions fort stimulantes. Merci aussi de m'avoir fait confiance et de m'avoir laissé un bon dosage d'autonomie, tout en étant présent lorsque le besoin s'en faisait sentir. Merci Marc! Merci aussi à tous mes partenaires de laboratoire, Catherine Langlois-Cloutier, Patricia Hammes, Mireille Lévesque, Pascale Domond et Geneviève Trépanier, ce fut un plaisir de travailler avec vous toutes.

Je remercie aussi mes superviseuses de stages, d'internat et de travail salarié, qui m'ont transmis la passion pour la psychologie clinique et la neuropsychologie clinique : Chantal Bellehumeur, Marie-Claude Guay, Marielle LeMoyne, Hélène Roy, Christianne Flessas, Louise Desjardins et Suzanne Rainville.

Je tiens à remercier M. Jean Bégin, statisticien au département, pour ses judicieux conseils au plan statistique et toutes les familles ayant participées aux projets de recherche de notre équipe. Finalement, je tiens à remercier et à féliciter les étudiants du Québec, qui en ce printemps 2012, défendent l'accessibilité aux études pour les générations futures.

Sébastien Monette

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vii
LISTE DES ABBRÉVIATIONS	viii
RÉSUMÉ	xi
CHAPITRE I	
INTRODUCTION	vi
1.1 Les fonctions exécutives	2
1.1.1 Principales sous-composantes	4
1.1.2 Neurophysiologie des FE.....	8
1.1.3 Aspect développemental	10
1.1.4 FE et rendement scolaire	13
1.1.5 FE et troubles externalisés	18
1.1.6 Aspects méthodologiques	23
1.1.7 Objectifs.....	24
1.1.8 Méthode	25
CHAPITRE II	
THE ROLE OF THE EXECUTIVE FUNCTIONS IN SCHOOL ACHIEVEMENT AT THE END OF GRADE 1.....	28
2.1 Abstract	31
2.2 Introduction	32
2.2.1 Executive functions	33
2.2.2 EF and academic achievement.....	33
2.2.3 EF and socio-affective functioning	36
2.2.4 Methodological issues	37
2.2.5 Objective.....	37
2.3 Method	38

2.3.1	Participants	38
2.3.2	Procedure	38
2.3.3	Measures at time 1 (kindergarten)	39
2.3.4	Measures at time 2 (end of grade 1)	44
2.3.5	Data reduction.....	45
2.3.6	Mediation analysis	45
2.4	Results	46
2.4.1	Factor structure	46
2.4.2	Correlation analysis	47
2.4.3	Mediation analysis	48
2.5	Discussion	49
2.6	References	57
CHAPITRE III		
EXECUTIVE FUNCTIONS IN KINDERGARTENERS WITH HIGH LEVELS OF DISRUPTIVE BEHAVIOR.....		68
3.1	Abstract	72
3.2	Introduction	73
3.2.1	EF and ADHD	73
3.2.2	EF and disruptive behavior	74
3.3	Method	76
3.3.1	Participants	76
3.3.2	Procedure	77
3.3.3	Measures	77
3.3.4	Data Reduction	79
3.4	Results	79
3.4.1	Factor Structure	79
3.4.2	Group comparisons	80
3.4.3	Correlation analysis	80
3.5	Discussion	81

3.6	References	86
CHAPITRE IV		
	DISCUSSION GÉNÉRALE	97
4.1	Synthèse des résultats des deux premiers articles de la thèse	98
4.2	Interprétation des résultats présentés dans les deux articles	100
4.2.1	Un modèle à trois facteurs	100
4.2.2	FE et rendement en mathématiques	102
4.2.3	FE et rendement en lecture-écriture.....	104
4.2.4	FE et troubles externalisés	108
4.3	Implications théoriques et cliniques	112
4.3.1	Implications théoriques.....	112
4.3.2	Implications cliniques et évaluation	116
4.3.3	Implications cliniques et intervention.....	117
4.4	Considérations méthodologiques générales à la recherche	119
4.4.1	Forces et limites	119
4.4.2	Directions futures.....	120
4.5	Conclusion générale	124
4.6	Références (introduction et discussion générale).....	125
ANNEXE A		
	LETTRE DE L'ÉDITEUR CONFIRMANT L'ACCEPTATION DE L'ARTICLE 1 ...	140
ANNEXE B		
	LETTRE DE L'ÉDITEUR CONFIRMANT LA SOUMISSION DE L'ARTICLE 2 ...	142

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1 Recension des études factorielles portant sur les fonctions exécutives.....	26
2.1 Factor analysis pattern matrix for executive functions tests	54
2.2 Descriptive statistics and correlations among variables.....	55
2.3 Summary of multiple mediation analysis (5000 bootstraps), controlling for all covariates.....	56
3.1 Sample descriptive statistics (n=119).....	91
3.2 Factor analysis pattern matrix for executive functions tests (n=119)	92
3.3 Anovas and post hoc tests	93
3.4 Correlational analysis between EF and ASEBA scales.....	94
3.5 Correlations among executive functions tests (n=119)	95

LISTE DES FIGURES

Tableau	Page
1.1 Développement des FE en bas âge.....	27
2.1 Means of each group on EF factors (working memory, inhibition and flexibility)	96
4.1 Schéma représentant les interrelations entre FE, troubles externalisés et rendement scolaire en fin de première année du primaire....	122
4.2 Différentes épreuves de FE disponibles au Québec pour les enfants d'âge préscolaire	123

LISTE DES ABRÉVIATIONS

TC (CD) :	Troubles des conduites (conduct disorder)
TDAH (ADHD) :	Trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (attention deficit hyperactivity disorder)
TDAH-I :	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité, type inattention prédominante
TDAH-C :	Trouble déficitaire de l'attention avec ou sans hyperactivité, type mixte (ou combiné)
TOP (ODD) :	Trouble oppositionnel avec provocation (oppositional defiant disorder)
FE (EF):	Fonctions exécutives (executive functions)
MT (WM) :	Mémoire de travail (working memory)
ASEBA:	Achenbach System of Empirically Based Assessment

RÉSUMÉ

La présente thèse de doctorat s'intéresse aux fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire. Les fonctions exécutives (FE) peuvent se définir comme étant un ensemble de processus mentaux hypothétiques permettant le contrôle conscient de la pensée et des actions afin de guider le comportement vers un but futur. La mémoire de travail, l'inhibition et la flexibilité sont considérée comme des composantes principales des FE et on s'intéresse de plus en plus au rôle de cet aspect de la cognition sur le développement humain. Cette thèse s'attarde au rôle des FE dans le rendement scolaire en début de scolarisation et au profil de FE des enfants ayant des comportements externalisés. Un devis longitudinal sur une année du développement des enfants a été utilisé et l'échantillon initial était composé d'enfants fréquentant des classes de maternelle régulières de la région de Montréal et de Sherbrooke. Un échantillon supplémentaire d'enfants présentant des problèmes de comportement ont été intégrés par la suite à l'échantillon initial. Les données ont été recueillies lors de séances de passation de tests auprès des enfants ainsi qu'à l'aide de questionnaires remplis par les parents et les enseignantes des enfants participants. Cette thèse comporte deux articles.

Le premier article porte sur le rôle des FE dans le rendement scolaire en fin de première année du primaire. L'objectif consistait à vérifier si les différentes composantes des FE mesurées en maternelle permettaient de prédire de façon unique, c'est-à-dire en neutralisant l'effet de certaines variables (connaissances préscolaires, variables affectives et variables familiales), le rendement en mathématiques et en lecture-écriture en fin de première année du primaire. Les résultats suggèrent que les FE sont associées au rendement scolaire ultérieur. Cependant, seulement la mémoire de travail a permis de prédire de façon unique le rendement scolaire, et ce, seulement en mathématiques. La mémoire de travail et l'inhibition se sont montrées associées au rendement en lecture-écriture de façon indirecte, par les comportements externalisés de l'enfant.

Le second article examine le profil de FE chez des enfants ayant des comportements externalisés. L'objectif principal consistait à comparer les FE d'enfants présentant des problèmes de comportements perturbateurs avec ou sans symptômes de trouble déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH) et des enfants d'un groupe contrôle. Les résultats indiquent que les enfants ayant des comportements perturbateurs sans symptômes de TDAH et les enfants ayant des comportements perturbateurs avec symptômes de TDAH présentent une faiblesse au plan de l'inhibition. Cependant, seulement les enfants ayant des comportements perturbateurs avec symptômes de TDAH ont montré une faiblesse au plan de la mémoire de travail, lorsque comparés à leur pairs normatifs.

Pour conclure, la discussion générale porte sur les résultats des deux articles empiriques de la thèse selon les interprétations qui peuvent en être tirées et des implications théoriques et cliniques qui sont susceptibles d'en découler. Les différentes forces et limites inhérentes à cette recherche sont également abordées ainsi que des pistes de recherches futures.

Mots-clés : Fonctions exécutives, inhibition, mémoire de travail, flexibilité, rendement scolaire, trouble déficit de l'attention avec/sans hyperactivité, troubles perturbateurs

CHAPITRE I
INTRODUCTION

INTRODUCTION

1.1 Les fonctions exécutives

Les fonctions exécutives (FE) peuvent se définir comme étant « un ensemble de processus mentaux hypothétiques permettant le contrôle conscient de la pensée et des actions afin de guider le comportement vers un but futur » (traduction libre) (Jurado & Russell, 2007). Mesulam (2002) les définit comme des processus qui permettent à l'individu d'échapper à un mode de fonctionnement « par défaut » (*default mode*), qui consiste en un ensemble de liens stimulus-réponses inflexibles, sensibles au milieu interne de l'individu et peu sensibles à l'environnement, ce mode de fonctionnement se retrouvant plus souvent chez les espèces sous-mammifériques.

On réfère aux FE sous différents vocables dans les écrits scientifiques tels que fonctions exécutives, fonctionnement exécutif, contrôle exécutif ou contrôle cognitif (*cognitive control*), ce qui reflète la difficulté à définir ce concept de façon opérationnelle. Le titre de la recension des écrits sur le concept de FE de Jurado et Russell (2007) est d'ailleurs évocateur : « La nature insaisissable des fonctions exécutives : une recension de notre compréhension actuelle » (*The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding*). Malgré un certain flou théorique, les nombreuses recherches des dernières décennies dans le domaine de la psychométrie, de la neuroimagerie, du développement, de la neuropsychologie et de la psychologie cognitive ont contribué à préciser ce concept.

Des études ont très tôt mis en évidence des déficits des FE, auxquelles on référerait d'ailleurs sous le vocable « fonctions frontales », chez les patients cérébrolésés, particulièrement des régions préfrontales, durant la période de la 2^e guerre mondiale, étant donnée la quantité de soldats ayant subi des lésions cérébrales.

On remarquait alors que certains individus ayant subis de telles lésions pouvaient présenter des capacités sensorielles, motrices, langagières et même intellectuelles préservées et des déficits au plan du contrôle de la cognition, des émotions et du comportement (Best, Miller, & Jones, 2009).

Alors que les premiers modèles des FE considéraient ces composantes dans un seul module de traitement de l'information, par exemple, le système attentionnel superviseur (SAS) du modèle de Norman et Shallice (1980) ou l'exécutif central du modèle de Baddeley et Hitch (1974), un courant subséquent (~1990-2010) a tenté de démontrer la dissociabilité des FE. Ce courant s'est largement appuyé sur les études factorielles où on soumettait des participants à un ensemble d'épreuves de fonctions exécutives communément utilisées en neuropsychologie clinique, telle que la tour de Londres (*Tower of London*), le test de traçage de Pistes (*Trail Making Test*), le tri de cartes du Wisconsin (*Wisconsin Card Sorting Test*), le test d'interférence de Stroop, etc., afin de constater l'indépendance relative des résultats obtenus à chacun de ces tests, selon les composantes qu'ils sont censés mesurer. Le tableau 1 fait état des principales études factorielles portant sur les FE.

Il est possible d'observer qu'à travers toutes les tranches d'âges étudiées, la mémoire de travail, la flexibilité et l'inhibition sont les processus les plus souvent identifiées comme étant les composantes principales des FE (tableau 1). Chez les enfants d'âge préscolaire, la dissociabilité des FE semble moins bien établie, puisque deux recherches (Wiebe, Espy, & Charak, 2008; Wiebe, Sheffield, Nelson, Clark, Chevalier, & Espy, 2010) ont montré que les performances à un ensemble de tests de FE pouvaient s'expliquer par la présence d'une seule variable latente.

L'étude phare de ce courant est celle de Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, (2000). Ces chercheurs ont administré une batterie de tests mesurant l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail (trois tests par composante) à un

échantillon de jeunes adultes. Ils ont testé différents modèles de variables latentes à l'aide de l'analyse factorielle confirmatoire, dont un modèle fractionné à trois composantes et un modèle unitaire. Le modèle le plus plausible au plan statistique était celui d'un modèle hybride où les trois facteurs (l'inhibition, la flexibilité et la mise à jour) étaient à la fois distincts et modérément corrélés entre eux. Ces trois facteurs ont permis de prédire de façon différentielle les résultats à différents tests connus de FE, soit le tri de cartes du Wisconsin (prédit par le facteur flexibilité), la tour de Hanoï (prédit par le facteur inhibition), une tâche de génération aléatoire de nombres (prédit par le facteur inhibition et mise à jour), une tâche de mémoire de travail (prédit par le facteur mise à jour) et une tâche d'attention divisée (prédit par aucun facteur).

1.1.1 Principales sous-composantes

Plusieurs chercheurs considèrent maintenant que la mémoire de travail, la flexibilité cognitive et l'inhibition comme étant les principales composantes des FE (Miyake et al., 2000), bien que d'autres composantes soient parfois mentionnées (par ex., planification, fluidité-fluence, initiation, vigilance-attention soutenue, attention sélective, attention divisée). La batterie de tests de FE pour enfants d'âge préscolaire développée et utilisée dans le présent projet de recherche s'appuie d'ailleurs sur ce modèle à trois facteurs. Nous nous attarderons maintenant à définir ces trois composantes principales des FE.

1) *L'inhibition*. L'inhibition réfère à la capacité de retenir de façon délibérée une réponse prépondérante (*prepotent response*), activée, dominante, saillante, automatique, surapprise ou une réponse en cours d'exécution (*ongoing response*) et le contrôle de l'interférence. Une inhibition non intentionnelle, comme le fait de centrer son attention sur un stimulus tout en ignorant d'autres stimuli non pertinents, est

plutôt liée au concept d'attention sélective, par exemple, dans une tâche de recherche visuelle de cibles parmi des distracteurs.

Les tests d'inhibition motrice connus comprennent les tests de type Go/Nogo et les tests de performance continue (*Continuous Performance Test - CPT*) où le participant doit rapidement répondre à un stimulus (Go), et ne pas répondre à un autre stimulus (Nogo). Le stimulus Go est toujours présenté plus souvent que le stimulus Nogo, afin que la réponse motrice soit dominante. Les épreuves d'arrêt de signal (*Stop signal paradigm*) sont aussi des tests d'inhibition motrice. Ces épreuves demandent habituellement à l'individu de répondre à plusieurs stimuli Go présentés successivement puis de ne pas répondre à un stimulus Nogo, cependant le stimulus Nogo présente habituellement des caractéristiques très semblables (visuellement ou auditivement), ce qui rend l'inhibition de la réponse encore plus difficile.

Le test de contrôle de l'interférence (*interference control paradigm*) le plus connu est sûrement le test d'interférence de Stroop, dans lequel le participant doit nommer la couleur de l'encre d'une série de mots désignant des couleurs (par ex., nommer l'encre rouge avec laquelle est écrit le mot « vert »). Ce type d'épreuve génère un conflit cognitif puisqu'une dimension du stimuli active une réponse dominante, dans ce cas, la lecture de mots qui entre en conflit avec le comportement à adopter qui repose sur une autre dimension du stimuli, toujours dans le même exemple, la dénomination de couleur.

Plusieurs taxonomies des processus d'inhibition ont été proposées par les chercheurs (pour une discussion détaillée, voir Friedman et Miyake, 2004). Par exemple, Nigg (2000) propose quatre types d'inhibition consciente (*effortfull inhibition*) : le contrôle de l'interférence, l'inhibition cognitive, l'inhibition motrice et l'inhibition oculomotrice. Quoi qu'il en soit, ces taxonomies de l'inhibition demeurent le plus souvent théoriques.

À notre connaissance, seulement trois études ont tenté de distinguer empiriquement différents types d'inhibition. L'étude de Carlson et Moses (2001) et celle de Sonuga-Barke, Dalen et Remington (2003) distinguent deux types d'inhibition. Le premier correspondrait à la capacité de tolérer un délai avant de recevoir un renforçateur (*delay*), qui réfère plus à l'auto-contrôle ou à ce que certains chercheurs appellent les « *hot executive functions* ». Le second correspondrait au contrôle de l'interférence ou de conflit cognitif (*conflict*). L'étude de Friedman et Miyake (2004) a quant à elle montré qu'une batterie de tests d'inhibition peut se réduire à deux facteurs empiriques : 1) l'inhibition « réponse-distracteur » (composé des scores à des tests de type Stroop, Eriksen Flanker, arrêt de signal, antisaccade, etc.) et 2) l'inhibition de type « résistance à l'interférence proactive » (composé des erreurs d'interférence proactive lors de trois épreuves d'apprentissage de listes de mots).

2) *La flexibilité*. La flexibilité correspond à la capacité d'alterner dynamiquement entre différentes tâches, opérations ou registres mentaux (*mental set*). Les tests de flexibilité nous apparaissent tomber dans deux catégories : d'une part les tests plus typiquement utilisés en neuropsychologie clinique, qui mesurent les erreurs de persévération et d'autre part les tests plus souvent utilisés en recherche en psychologie cognitive dans le paradigme de flexibilité de registre (*set/task shifting paradigm*). Les tests de flexibilité les plus connus en neuropsychologie clinique comprennent le test du tri de cartes du Wisconsin (*Wisconsin card sorting test*) et le test de traçage de pistes (*Trail making test*). Dans le premier, un déficit de flexibilité est habituellement associé à des erreurs de persévération tandis que dans le deuxième, on peut mesurer à la fois les erreurs de persévération et le coût de flexibilité. Les erreurs de persévération sont des répétitions de réponses incorrectes (par ex., classer des cartes selon un principe de couleur alors que l'évaluateur informe le sujet à chaque essai que sa réponse est incorrecte), ce qui reflète une difficulté à changer de

registre cognitif. Dans d'autres épreuves de flexibilité, on calculera le « coût cognitif » associé à une condition de flexibilité, en termes de temps. Par exemple, on calculera le temps pris pour faire vingt additions (tâche 1), ensuite on calculera le temps pris pour faire vingt soustractions (tâche 2). Enfin, on calculera le temps pris pour effectuer dix additions et dix soustractions intercalées (tâche de flexibilité) et l'on soustraira la moyenne de temps pris pour effectuer les tâches 1 et 2. Nous suggérons l'article de Chevalier (2010) pour une discussion détaillée du concept de flexibilité cognitive et de sa mesure.

3) *La mémoire de travail (MT)*. Dans les études portant sur les FE, le terme mémoire de travail peut référer à différents concepts, ce qui en rend la définition ardue. Le choix du terme MT afin de décrire une composante des FE est d'ailleurs peu judicieux, puisque la mémoire de travail réfère en principe à un modèle comprenant diverses sous composantes. Le problème est encore pire, puisqu'une des composantes du modèle de MT, « l'exécutif central », peut être interprété comme un équivalent des FE, ce qui donne lieu à une sorte de raisonnement circulaire.

En fait lorsque les chercheurs utilisent des « tests de MT », ils utilisent habituellement des tests mesurant la capacité d'empan, de mise à jour (*updating*) ou de manipulation. La MT en tant que composante des FE réfère habituellement à la mise à jour ou la manipulation, qui serait une fonction de l'exécutif central dans le modèle de Baddeley, et non pas à la simple capacité d'empan, qui correspond aux systèmes esclaves dans le modèle de Baddeley, soit la boucle phonologique et calepin visuospatial. La capacité d'empan est un processus de maintien passif de l'information dans l'esprit (*passive storage*), alors que la mise à jour et la manipulation sont considérées comme demandant à la fois un maintien de l'information et une manipulation-transformation de l'information (*active storage*).

Les tests de mise à jour exigent de conserver de l'information en mémoire à court terme visuelle ou auditive et de la mettre à jour continuellement en éliminant les éléments non pertinents et en y rajoutant des éléments pertinents. Un exemple de tests de mise à jour est le *N-Back*, où l'individu doit rappeler le n° élément avant l'arrêt d'une série d'items présentées auditivement ou visuellement. Par exemple, dans un *N-Back* de 3, sur la séquence auditive suivante : « 1, 5, 8, 5, 7, 9, 5, 2, 6, signal d'arrêt », l'individu doit rappeler le chiffre « 5 », qui est le 3^e chiffre avant l'arrêt de la séquence.

Les tests de manipulation demandent de conserver de l'information en mémoire à court terme visuelle ou auditive et d'effectuer une transformation sur cette information. Les tests prototypiques sont les tests d'empan à rebours (de chiffres, de mots, visuospatial, de position de mains, etc.), où l'on demande au participant d'effectuer le rappel d'une séquence dans l'ordre inverse de présentation.

La batterie de tests de FE (BÉFEX-P2) utilisée dans ce projet de recherche comprend des sous-tests d'inhibition (type contrôle de l'interférence) : le test jour-nuit, le Stroop des fruits et le test cogner-frapper; des sous-tests de flexibilité (type mesure d'erreurs de persévération) : le tri de cartes et le traçage de pistes; et des sous-tests de mémoire de travail (manipulation) : l'empan de mots à rebours et l'empan de chiffres à rebours. Cette batterie de tests sera expliquée plus en détail dans la section méthode des chapitre II et III. Au moment d'écrire les dernières lignes de cette thèse, la troisième version (BÉFEX-P3) de cette batterie est en essai et contient quatre nouveaux tests de flexibilité dont trois de type coût de flexibilité (*shifting cost*).

1.1.2 Neurophysiologie des FE

L'approche psychométrique de l'étude de la structure des FE fut suivie de très près par un courant de recherche encore très actif aujourd'hui qui tente de vérifier si

cette structure hypothétique trouve son corrélat dans le substrat neurophysiologique. Mentionnons toutefois que la plupart de ces études ont été réalisées auprès d'échantillons adultes, contrairement à la majorité des études citées précédemment. Les études en neuroimagerie de Colette et al. (2005) et de McNab et al. (2008) ont permis de voir que l'inhibition, la flexibilité et la mémoire de travail activent des zones cérébrales communes ainsi que des zones spécifiques, ce qui renforce l'idée de « l'unité et de la diversité des FE » proposée par Miyake et al. (2000). Il existe aussi au moins une méta-analyse portant sur chaque composante des FE dans le domaine de la neuroimagerie.

Les tests de contrôle de l'interférence exercent des demandes sur plusieurs régions cérébrales, telles que le cortex cingulaire antérieur (BA 32), le cortex préfrontal dorsolatéral (BA 9, 46), le cortex préfrontal inférieur (BA 44, 45, 47), le cortex pariétal postérieur et l'insula antérieure (Nee, Wager, & Jonides, 2007). Les études de lésions indiquent pour leur part un rôle essentiel du cortex préfrontal inférieur droit pour la réussite des tâches de contrôle de l'interférence (Aron, Robbins, & Poldrack, 2004).

Wager et Smith (2003) ont montré que les épreuves de mémoire de travail, plus spécifiquement les épreuves impliquant la manipulation mentale de l'information, sont associées aux régions préfrontales ventrales droites (BA 10, 46, 47), comparativement aux épreuves de MT moins exigeantes qui activent plutôt les zones frontales supérieures et dorsolatérales (BA 6, 8, 9).

Wager, Jonides et Reading (2004) ont effectué une méta-analyse sur 31 études portant sur la neuroimagerie et la flexibilité cognitive. Ces auteurs ont classifié les épreuves de flexibilité en cinq catégories et leurs résultats indiquent que les zones d'activation communes aux cinq types d'épreuves de flexibilité sont : le cortex

occipital gauche, la zone préfrontale médiane, le sillon intrapariétal bilatéral et les régions prémotrices.

Les modèles les plus récents portant sur le fonctionnement des régions préfrontales tentent d'ailleurs d'intégrer ces multiples données issues des études en psychologie cognitive et en neuroimagerie. Un exemple est le modèle de Cunningham et Zelazo (2007) cité dans Zelazo, Qu et Kesek (2010) (p.100), où chaque région préfrontale illustrée montre des connexions réciproques à d'autres aires corticales ou sous-corticales et leur rôle hypothétique dans le traitement de l'information cognitive et affective.

1.1.3 Aspect développemental

Il y a quelques décennies, on considérait que le cortex préfrontal n'était fonctionnel qu'à partir de l'adolescence et, conséquemment, que les FE n'étaient pas ou peu opérationnelles avant cet âge. On sait maintenant que le CPF est actif et contribue à la réussite de tâches de FE dès l'âge de un an (Zelazo & Müller, 2002; Diamond, 2002). Le développement des FE est considérablement prolongé lorsque comparé à d'autres fonctions cognitives telles que le langage. Ce développement prolongé se superpose au développement neurophysiologique prolongé des structures préfrontales au plan de la synaptogenèse, de myélinisation et de la cohérence bioélectrique (Roth, Randolph, Koven, & Isquith, 2006).

Le développement du CPF, étudié à la fois à l'aide de l'EEG, de l'imagerie cérébrale et des analyses métaboliques, présente des périodes de développement accélérés entre 0-2 ans, 7-9 ans et 16-19 ans (Anderson, Levin & Jacobs, 2002). Les chercheurs considèrent que ces périodes de développement accélérés se superposent également au développement des FE. Les divergences entre les études pourraient s'expliquer par un rythme développemental différent selon les diverses composantes

des FE, une hypothèse actuellement à l'étude (Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006).

Dans leur recension des écrits sur le développement des FE, Best et al. (2009) ont montré qu'effectivement les FE ne semblent pas se développer au même rythme et aussi, que des changements qualitatifs peuvent s'observer quant aux zones cérébrales impliquées au cours du développement. Ainsi, l'inhibition se développe rapidement de la petite enfance jusqu'au début de l'âge adulte (21 ans) et avec l'âge, l'activation cérébrale devient plus spécifique au CPF ventral, cingulaire et orbitofrontal droit. La MT semble se développer jusqu'à l'adolescence et des changements plus complexes dans l'activation cérébrale s'observent également en fonction de l'âge. La flexibilité semble aussi se développer jusqu'au début de l'adolescence et chez les adultes, les épreuves de flexibilité sollicitent dans une plus grande proportion les régions frontales inférieures, pariétales et le cortex cingulaire antérieur. L'inhibition aurait ainsi un développement accéléré en bas âge, tandis que la MT et la flexibilité montreraient une progression plutôt linéaire. À l'autre bout du continuum développemental, les effets délétères du vieillissement sur les FE commenceraient à s'observer après soixante ans (Best & Miller, 2010).

Concernant plus spécifiquement la tranche d'âge préscolaire, des changements importants s'observent durant cette période. Garon, Bryson et Smith (2008) ont d'ailleurs fait état de la progression au plan des FE des enfants de 1 à 6 ans. La figure 1 illustre cette progression développementale des différentes FE. Concernant la mémoire de travail, très rapidement, autour de six mois, les enfants se montrent capables de garder une représentation en mémoire à court terme pour un très court laps de temps, comme l'indique leur performance aux épreuves de réponse différée (*delayed response*, DR). Dans ce type d'épreuve, un jouet (ou autre renforçateur) est dissimulé dans un endroit sur une possibilité de deux. Après un temps déterminé, habituellement quelques secondes, l'enfant doit le retrouver. Avec l'âge, le nombre

d'items et la durée de rétention augmente, un enfant de 12 mois pouvant maintenir une représentation mentale active pendant plus de 10 secondes. Vers 2 ans, les enfants réussissent des épreuves de mise à jour (*self ordered pointing, SOP*), puis des épreuves d'empan à rebours vers trois ans. Au plan de l'inhibition, les enfants apprennent rapidement (vers 6 mois) à inhiber un comportement d'approche vers un renforçateur sur commande verbale. Ensuite, ils deviennent capables de tolérer un délai avant de recevoir un renforçateur. Ces capacités d'inhibition émergentes réfèrent plus spécifiquement à l'inhibition affective/motivationnelle (*hot executive function*). Vers 3 ans, les enfants sont capables de réussir des épreuves de type fait/ne fait pas (par ex., le jeu « Jean dit ») et des épreuves de type Stroop simplifiées. Concernant la flexibilité, Garon et al. (2008) rapportent que les enfants sont d'abord capables de flexibilité comportementale, comme on peut l'observer dans l'épreuve A-non-B, puis, vers 3 ans, les enfants sont capables de faire preuve de flexibilité cognitive ou attentionnelle, c'est-à-dire, que déplacer le foyer attentionnel d'une dimension d'un stimulus à une autre.

Le test du tri de carte à changement de dimension de Zelazo (*Dimensional Change Card Sort-DCCS*), une épreuve abondamment utilisée et citée en recherche, permet d'apprécier le changement qui s'opère au plan des capacités de flexibilité cognitive. Dans cette épreuve, on demande à l'enfant de classer des cartes; la moitié de ces cartes ont un cercle rouge, l'autre moitié, un carré bleu. Les cartes doivent être classées dans deux boîtes, une avec un cercle bleu et une avec un carré rouge. On explique à l'enfant qu'il doit tout d'abord classer les cartes selon leur couleur (condition 1). Presque tous les enfants de 3 ans ou plus réussissent cette première condition. Ensuite, on explique à l'enfant qu'il doit classer les cartes selon la forme (condition 2). À chaque carte, on rappelle la règle à l'enfant : « C'est le jeu des formes, les carrés vont ici et les cercles vont là ». La plupart des enfants de moins de 4 ans sont incapables de classer les cartes en suivant cette nouvelle consigne et continuent à les classer en fonction de la première consigne, dans ce cas selon la

couleur. Cette expérience a été répétée de nombreuses fois, en variant plusieurs paramètres (par ex., classer les formes avant les couleurs) et les résultats sont robustes. Les enfants sont même capables de donner la bonne réponse en pointant, mais sont incapables de réaliser l'épreuve originale.

La période préscolaire semble ainsi une période charnière pour le développement des FE. Les prochaines sections porteront sur deux champs d'études centraux chez les jeunes enfants et pour lesquels l'implication des FE paraît importante : le rendement scolaire et les troubles externalisés.

1.1.5 FE et rendement scolaire

FE et rendement scolaire chez les 6-16 ans

Chez les enfants d'âge scolaire, les habiletés de lecture et d'écriture ont été mises en lien avec la mémoire de travail (St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; van der Sluis, de Jong, & van der Leij, 2007; Waber, Gerber, Turcios, Wagner, & Forbes, 2006), la flexibilité (Altemeier, Abbott, & Berninger, 2008; van der Sluis et al., 2007; Waber et al., 2006) et l'inhibition (Altemeier et al. 2008; Altemeier, Jones, Abbott, & Berninger, 2006; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; Taylor, Schatschneider, Petrilli, Barry, & Owens, 1996; Waber et al., 2006).

Les habiletés en mathématiques ont également été associées à la mémoire de travail (Agostino, Johnson, & Pascual-Leone, 2010; Bull & Scerif, 2001; Lee, Ng, Ng, & Lim, 2004; Rasmussen & Bisanz, 2005; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; van der Sluis et al., 2007; Waber et al., 2006), à la flexibilité (Agostino et al. 2010; Bull & Scerif, 2001; Waber et al., 2006) et à l'inhibition (Agostino et al. 2010; Bull & Scerif, 2001; Rasmussen & Bisanz, 2005; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; Taylor et al., 1996; Waber et al., 2006).

Ces résultats suggèrent une association générale entre les FE et le rendement scolaire. Cependant, l'observation attentive des résultats suggère un patron d'association plus subtil. Par exemple, dans l'étude de St Clair-Thompson et Gathercole (2009), la MT était plus fortement associée au rendement scolaire que l'inhibition. L'association la plus forte était observée entre la MT et le rendement en lecture-écriture. Dans l'étude de van der Sluis et al. (2007) aussi, la MT permettait de prédire le rendement en lecture-écriture de façon plus forte et unique que le rendement en mathématiques. Dans l'étude de Taylor et al. (1996), une fois les covariables neutralisées, l'inhibition permettait d'expliquer seulement la variance en lecture-écriture. Dans l'étude de Waber et al. (2006), des corrélations plus élevées étaient observées entre FE et rendement en lecture-écriture, qu'entre FE et rendement en mathématiques. La plupart de ces études étaient effectuées auprès d'échantillons d'enfants de 9 à 12 ans et dans ce groupe d'âge, il semble que les FE sont plus fortement associés au rendement en lecture-écriture.

FE et rendement scolaire chez les 3 à 6 ans

Concernant les enfants d'âge préscolaire, moins d'études se sont intéressées au lien entre les FE et les habiletés émergentes de lecture-écriture ou de mathématiques. Dans une de celle-ci, Espy et al. (2004) ont montrée que l'inhibition et la MT permettaient de prédire les habiletés en mathématiques de façon concurrente et que l'inhibition y était plus fortement associée. La flexibilité n'était pas corrélée aux habiletés de mathématiques. Une fois les covariables neutralisées (âge, vocabulaire, éducation de la mère et autres FE), seulement l'inhibition démontrait un pouvoir de prédiction unique, expliquant ainsi 12% de variance. Dans une autre étude, Blair et Razza (2007) ont tenté de prédire les habiletés de mathématiques, de conscience phonologique et la connaissance des lettres chez des enfants de 3 à 5 ans, de façon concurrente et longitudinale. L'inhibition, telle que mesurée par une épreuve

de contrôle de l'interférence, s'est montrée un meilleur prédicteur pour les mathématiques comparé à la conscience phonologique et la connaissance des lettres, et ce, aux deux temps de mesure. Une fois les covariables neutralisées (vocabulaire, QI non verbal, effort de contrôle, autres FE, compréhension de fausses croyances), seulement l'inhibition est demeurée un prédicteur significatif des trois habiletés émergentes au premier temps de mesure ainsi qu'aussi second temps de mesure, mais cette fois uniquement pour les mathématiques. McClelland et al. (2007) ont mesuré le lien entre l'inhibition, tel que mesurée par l'épreuve « tête-orteil », et le rendement en littéracie, mathématiques et vocabulaire auprès d'un vaste échantillon d'enfant d'âge préscolaire. L'étude comprenait deux temps de mesure, au début et à la fin de la prématernelle. Aux deux temps de mesure, de façon transversale et longitudinale, l'inhibition s'est montrée plus fortement associée avec le rendement en mathématiques qu'avec le rendement en littéracie et en vocabulaire. Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson et Grimm (2009), pour leur part, ont étudié la contribution des FE cognitives et émotionnelles (*hot and cool EF*) sur le rendement scolaire auprès d'un échantillon d'enfants de maternelle. Ils ont trouvé que le rendement en mathématiques mesuré à la fin de la maternelle était prédit de façon unique par les FE cognitives (deux épreuves d'inhibition) mesuré au début de la maternelle, ce qui n'était pas le cas pour le rendement en lecture.

Bull, Espy et Wiebe (2008) ont récemment réalisé une étude longitudinale ambitieuse dans laquelle ils ont pris des mesures à quatre reprises sur un échantillon de 124 enfants. Ces chercheurs ont montré que la mémoire à court terme visuelle et la MT mesuré en prématernelle pouvaient prédire le rendement en mathématiques à chaque temps de mesure subséquent (début et fin de la 1^{re} année et fin de la 3^e année du primaire), alors que l'inhibition et la flexibilité permettaient de prédire le rendement scolaire en général, plutôt qu'une discipline spécifique. Clark, Pritchard et Woodward (2010) ont tenté de prédire le rendement en mathématiques d'enfants de 6 ans à l'aide de leurs FE mesurées à 4 ans. Ils ont montré que les FE permettent de

prédire le rendement en mathématiques, et ce, même en neutralisant pour l'effet du QI et des habiletés en lecture. Ils ont considéré que les FE étaient des prédicteurs du rendement en mathématiques au moins aussi puissant que le QI pour cette tranche d'âge. Passolunghi, Mammarella et Altoè (2008) ont quant à eux révélé que la mémoire à court terme et la MT pouvaient prédire le rendement en mathématiques en première année du primaire, mais que seulement la MT demeurerait un prédicteur significatif pour le rendement en deuxième année, une fois l'effet du QI verbal et non-verbal neutralisé. En somme, cette lecture minutieuse des études portant sur le lien FE/rendement scolaire en début de scolarisation nous indique que les FE et plus particulièrement l'inhibition, semblent plus fortement associées aux habiletés de mathématiques qu'aux habiletés de lecture-écriture.

FE, rendement scolaire, variables cognitives et socioaffectives

Les chercheurs qui se sont intéressés au lien entre les FE et le rendement scolaire ont souvent effectué des contrôles statistiques afin de prendre en compte l'effet de variables connues comme étant fortement associées au rendement scolaire comme le QI, le niveau de vocabulaire ou les connaissances préscolaires (Laparo & Pianta, 2000). L'idée étant de savoir si les FE permettent de prédire le rendement scolaire de façon indépendante de ces variables. Dans un contexte d'intervention, la démonstration d'un effet unique est importante, car elle permet de justifier une intervention portant spécifiquement sur les FE. Dans le cas contraire, on pourrait argumenter que d'intervenir sur les FE n'est pas prioritaire étant donné que l'on peut tout simplement intervenir sur les autres variables prédictrices du rendement scolaire avec lesquelles elles covarient.

Les recherches ont également montré qu'après les variables cognitives, les variables affectives comme la compétence sociale, la régulation émotionnelle, les troubles externalisés et les troubles internalisés sont les meilleurs prédicteurs du

rendement scolaire des enfants (Downer & Pianta, 2006; Graziano, Reavis, Keane, & Calkins, 2007; Horn & Packard, 1985; Normandeau & Guay, 1998). Il apparaît aussi que les variables socioaffectives sont impliquées dans une plus grande mesure dans le rendement scolaire des enfants d'âge préscolaire, comparé aux enfants plus âgés. (Konold, Jamison, Stanton-Chapman, & Rimm-Kaufman, 2010).

Cependant, bien peu d'études portant sur le lien FE-rendement scolaire se sont penchées sur l'influence des variables affectives sur ce lien. Pourtant, les FE sont associées au fonctionnement socioaffectif, entre autre, les comportements agressifs (voir section plus bas : FE et troubles perturbateurs), bien que la nature de ce lien soit matière à débat. Les FE pourraient aussi être impliquées dans un processus plus spécifique tel que la régulation émotionnelle (Gross & Thompson, 2007) qui lui-même influence le profil socioaffectif de l'enfant. Certains auteurs réfèrent d'ailleurs au concept de régulation émotionnelle sous le vocable de « FE chaudes » (*hot EF*) (Hongwanishkul, Happaney, Lee, & Zelazo, 2005), ce qui souligne la proximité des deux concepts, mais peut aussi mener à confusion. Différents modèles conceptuels ont d'ailleurs été proposés (Zelazo, Qu, & Kesek, 2010; Nigg, Martel, Nikolas, & Casey, 2010) afin de rendre compte de ce lien entre les FE et le fonctionnement socioaffectif. Ces modèles proposent, entre autres, que les régions cérébrales associées aux FE telles que les zones préfrontales dorsolatérale, ventrolatérale et le cortex cingulaire antérieur jouent un rôle dans la régulation émotionnelle en ayant un effet descendant (*top-down*) sur les régions associées au contrôle émotionnel tel que le cortex orbitofrontal et l'amygdale. Les fonctions exécutives pourraient ainsi influencer le profil socioaffectif de l'enfant, qui lui-même pourrait influencer le rendement scolaire.

1.1.6 FE et troubles externalisés

D'abord associé à l'étude des patients cérébrolésés, le champ d'étude des FE s'est rapidement étendu à des pathologies du domaine de la psychiatrie, puis de la pédopsychiatrie. Des déficits des FE sont régulièrement rapportés chez les patients atteints de schizophrénie, des troubles du spectre de l'autisme, du trouble obsessionnel-compulsif, du syndrome Gilles de la Tourette, du trouble déficitaire de l'attention avec hyperactivité (TDAH), du trouble des conduites (TC) et du trouble oppositionnel avec provocation (TOP). Chez les enfants, les troubles externalisés (TDAH, TOP et TC) sont parmi les premières causes de consultation en psychologie ou dans d'autres domaines connexes. Pour le présent ouvrage, nous distinguerons le TDAH et les troubles perturbateurs (*disruptive disorder*), ces derniers regroupant le TOP et le TC. Ces deux troubles sont parfois combinés, étant donné leurs similarités au plan des symptômes, des facteurs de risque et le continuum développemental existant entre les deux troubles, le TOP étant souvent une condition antécédente d'un TC (Loeber, Green, Lahey, Frick, & McBurnett, 2000).

FE et TDAH

La présence d'un déficit des FE chez les enfants présentant un TDAH est maintenant bien documentée. Martinussen, Hayden, Hogg-Johnson et Tannock (2005) ont montré à l'aide d'une méta-analyse que les enfants ayant un TDAH présentent des habiletés de mémoire de travail déficitaires. Ce déficit est plus prononcé pour la mémoire de travail que pour la mémoire à court terme. Ces résultats sont indépendants des difficultés de langage et du fonctionnement intellectuel global de l'enfant. Willcut, Doyle, Nigg, Faraone et Pennington (2005) ont effectué une impressionnante méta-analyse portant sur les FE chez les enfants ayant un TDAH. Cette méta-analyse compile les résultats de 83 études effectuées auprès de 3734 enfants ayant un TDAH et 2969 enfants normatifs. Ces chercheurs ont ainsi démontré

que les enfants présentant un TDAH obtiennent des performances plus faibles que les enfants normatifs sur 13 épreuves de FE sélectionnées (taille de l'effet global modéré) et que les performances de ces enfants semblent particulièrement faibles au plan des capacités d'inhibition, de vigilance, de mémoire de travail et de planification.

FE et TDAH chez les préscolaires

Chez les enfants d'âge préscolaire (3 à 6 ans), l'intérêt pour la question du lien FE-TDAH est plus récent. Pauli-Pott et Becker (2011) ont effectué une méta-analyse sur 25 articles publiés sur ce sujet au cours des 10 dernières années. Les enfants présentant un TDAH ou ayant un niveau élevé de comportements associés à un TDAH ont montré des capacités réduites au plan de l'inhibition (inhibition motrice et contrôle de l'interférence), de l'aversion aux délais et de la vigilance (taille de l'effet modéré à grand), et également au plan de la mémoire de travail (taille de l'effet faible). Le nombre réduit d'études ($n=3$) mesurant la composante de flexibilité n'a pas permis de conclure sur ce point. Les auteurs ont aussi mentionné que les déficits de vigilance et de contrôle de l'interférence des enfants ayant un TDAH semblent s'accroître en fonction de l'âge. Concernant la possibilité d'un lien plus spécifique entre les comportements d'inattention ou d'hyperactivité-impulsivité avec certaines composantes des FE, très peu d'études chez les jeunes enfants ont été menées à ce jour.

Bref, en ce qui concerne le lien entre FE et TDAH, il semble maintenant établi que les enfants ayant un TDAH ont généralement des habiletés de FE plus faibles que les enfants d'échantillons normatifs, surtout au plan des capacités d'inhibition, de vigilance, de mémoire de travail et de planification. Cela semble s'appliquer aux enfants d'âge scolaire et préscolaire, bien que la méta-analyse de Pauli-Pott et Becker

(2011) suggère des difficultés d'abord plus importantes au plan de l'aversion des délais, puis, avec l'âge les difficultés d'inhibition et de vigilance prennent le devant.

FE et troubles perturbateurs

L'intérêt qu'ont les chercheurs pour l'étude des FE chez les individus présentant des troubles perturbateurs (TC et TOP) date de plus longtemps que leur intérêt pour l'étude du lien FE-TDAH, mais la question du lien entre FE et troubles perturbateurs demeure controversée. Moffit (1993) a recensé 47 études de la période 1965 à 1992 portant sur le profil neuropsychologique de jeunes contrevenants et elle a conclu que ceux-ci présentent des déficits neuropsychologiques au plan des FE et des habiletés langagières.

Une autre recension importante est celle de Pennington et Ozonoff (1996). Ces auteurs ont recensé les études portant sur le lien entre les FE et quatre psychopathologies développementales : le TDAH, le TC, l'autisme et le syndrome Gilles de la Tourette. Les auteurs ont avancé que des déficits exécutifs n'ont été mis en évidence de façon robuste que dans le TDAH et l'autisme. Pour le TDAH, les tests de FE les plus prédictifs étaient la tour de Hanoi (planification), les tests d'inhibition motrice et le *matching familiar figure test* (MFFT), qui reposent fortement sur la composante d'inhibition. Pour les enfants ayant un TC, les auteurs ont indiqué que des études ont montré des déficits de FE chez ces enfants, mais uniquement lorsque les chercheurs n'avaient pas contrôlé pour la présence d'un TDAH concomitant. Les auteurs affirmaient qu'un déficit des FE chez les enfants présentant un TC (sans TDAH) restait à démontrer.

Oosterlaan, Logan et Sergeant (1998) ont pour leur part effectué une méta-analyse sur 8 études (n=456 enfants) portant sur le lien plus spécifique entre la performance aux tests d'inhibition motrice (*stop signal task*) et différents troubles

(TDAH, TC, TDAH+TC, trouble anxieux). Les auteurs conclurent que la présence d'un TDAH est fortement associée à une faible performance aux tests d'inhibition motrice et que la performance des enfants TDAH ne diffère pas de celle des enfants ayant un TC ou une comorbidité TDAH+TC. Les enfants ayant un trouble anxieux ne manifestent pas de déficit exécutif.

Morgan et Lilienfeld (2000) ont effectué une méta-analyse sur le lien FE et comportements antisociaux en recensant 39 études ($n = 4589$ adolescents et adultes). Leur recension indiquait que les groupes antisociaux obtiennent des scores qui se situent en moyenne à 0.62 écart-type plus bas sur les tests de FE en général comparé aux groupes normatifs. Le test de FE le plus fortement associé aux comportements antisociaux parmi ceux retenus est une épreuve de planification de type labyrinthe ($d = 0.80$). Les auteurs mentionnaient que la spécificité d'un déficit de FE, comparé à d'autres capacités cognitives, n'était pas démontré chez les individus ayant des comportements antisociaux et qu'un déficit de FE n'était pas spécifique aux individus présentant des comportements antisociaux.

Sergeant, Geurts, et Oosterlaan (2002) ont effectué une recension des écrits portant sur la spécificité d'un déficit des FE dans quatre psychopathologies de l'enfance. Ces chercheurs ont confirmé qu'un déficit d'inhibition (contrôle de l'interférence et inhibition motrice) était présent chez les enfants ayant un TDAH et également chez les enfants ayant un trouble perturbateur et qu'en ce sens, un déficit d'inhibition n'était pas spécifique au TDAH. Leur recension indiquait aussi que ni les enfants ayant un TDAH, ni ceux ayant un trouble perturbateur ne présentent de problèmes de flexibilité cognitive.

Depuis, d'autres recherches ont été entreprise, en tentant d'éviter les limites relevées dans les études précédentes, principalement en contrôlant pour la comorbidité entre les troubles perturbateurs et le TDAH. Certaines études ont ainsi

montré que les enfants ayant un trouble perturbateur sans TDAH ne manifestaient pas de difficulté au plan des FE (Hummer et al., 2010; Oosterlaan, Scheres, & Sergeant, 2005). Pourtant, d'autres chercheurs ont montré le contraire (Herba, Tranah, Rubia, & Yule, 2006; Séguin, Boulerice, Tremblay, & Pihl, 1999; Toupin, Déry, Pauzé, Mercier, & Fortin, 2000). Concernant ces dernières études, la composante des FE qui s'est montrée la plus fréquemment déficitaire chez les enfants ayant un trouble perturbateur est l'inhibition (Herba et al., 2006; Toupin et al., 2000).

FE et troubles perturbateurs chez les enfants d'âge préscolaire

Chez les enfants d'âge préscolaire, une première vague de recherche a également constaté une association entre FE et troubles perturbateurs (Blair, Granger, & Razza, 2005; Brophy, Taylor, & Hughes, 2002; Floyd & Kirby, 2001; Hughes, Dunn, & White, 1998; Hughes, White, Sharpen, & Dunn, 2000; Livesey, Keen, Rouse, & White, 2006). Ici aussi, l'inhibition fut la composante la plus souvent associée aux troubles du comportement chez les jeunes enfants, mais les études s'intéressant à d'autres composantes des FE sont très peu nombreuses ou même inexistantes.

Tout comme chez les enfants d'âge scolaire, une seconde vague de recherche a tenté de vérifier si ce lien persistait lorsque la comorbidité avec un TDAH était prise en compte. Ainsi, certains chercheurs ont trouvé que les enfants manifestant un trouble perturbateur présentaient des déficits exécutifs, malgré un contrôle pour un TDAH concomitant, principalement au plan de l'inhibition (Raaijmakers et al., 2008). D'autres chercheurs n'ont pas trouvé un tel lien (Berlin & Bohlin, 2002; Brocki, Nyberg, Thorell, & Bohlin, 2007; Kalff et al., 2002; Thorell & Wåhlstedt, 2006).

Malgré de nombreuses études et recensions, la question du lien FE-troubles perturbateurs demeure ouverte. Un certain nombre d'études ont trouvé un lien entre

les FE, surtout l'inhibition, et la présence de troubles du comportement, en neutralisant l'effet d'un TDAH, mais ces résultats sont peu nombreux et sont contredits par d'autres études. Chez les enfants d'âge préscolaire, ce champ d'étude en est à ses débuts.

1.1.7 Aspects méthodologiques

Certaines des études précédemment citées présentaient des caractéristiques méthodologiques qui limitaient leur interprétation. Premièrement, plusieurs études se contentent de comparer des groupes sur des scores bruts de tests de FE, sauf exception (Hughes, Dunn, & White, 1998; Raaijmakers et al., 2008). Étant donné l'aspect multidéterminé des scores aux tests de FE (voir Pennington & Ozonoff, 1996), il est pertinent d'avoir recours à des méthodes permettant d'obtenir des mesures plus épurées et complètes, tel que des scores obtenus à l'aide de l'analyse factorielle. Cela est d'autant plus pertinent que les enfants ayant des troubles perturbateurs ont souvent des faiblesses au plan langagier et que plusieurs tests de FE requièrent des habiletés langagières (par ex., empan de chiffres à rebours, empan de mots à rebours, empan de dénombrement, test d'interférence de type Stroop, épreuve de fluence verbale). Aussi, plusieurs chercheurs ne considéraient pas la mémoire de travail comme une composante des FE, ayant pour conséquence que des déficits de cette composante pourraient être passés inaperçus. Séguin (2004) mentionne d'ailleurs que l'absence d'évaluation complète des FE et la pratique de n'utiliser qu'un test de FE par composante lors de la cueillette de données sont des écueils méthodologiques importants à surmonter dans la recherche portant sur la neurocognition des troubles externalisés.

1.1.8 Objectifs

L'objectif général de cette étude était de vérifier l'implication des FE dans le rendement scolaire et les comportements externalisés chez les enfants d'âge préscolaire. Plus spécifiquement, deux objectifs étaient visés.

Le premier objectif consistait à explorer l'implication des FE tel que mesuré en maternelle dans le rendement scolaire en mathématiques et en lecture-écriture à la fin de la 1^{ère} année du primaire et de tester si cette relation était indépendante de prédicteurs connus de la réussite scolaire. Nous avons également testé l'hypothèse selon laquelle le fonctionnement socioaffectif de l'enfant pouvait agir comme une variable médiatrice dans la relation entre les FE et le rendement scolaire. Le premier chapitre de cette thèse porte sur ces objectifs dont les détails sont présentés dans un article soumis à la revue *Journal of Experimental Child Psychology* et qui s'intitule : « *The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1* » (Monette, Bigras & Guay, 2011)

Le deuxième objectif était de documenter le profil exécutif chez les enfants présentant un niveau élevé de comportements perturbateurs avec ou sans symptômes de TDAH. En ce sens, trois groupes d'enfants de maternelle furent comparés au plan des FE : un groupe ayant un niveau élevé de comportements perturbateurs et de TDAH, un groupe ayant un niveau élevé de comportements perturbateurs seulement et un groupe normatif. Le deuxième chapitre de cette thèse traite de cet objectif dans un article soumis à la revue *Journal of Child Psychology and Psychiatry* et qui s'intitule : « *Executive functions in kindergarteners with high levels of disruptive behaviors* » (Monette, Bigras & Guay, soumis).

1.1.9 Méthode

La méthode utilisée dans le cadre de ce projet de recherche est présentée en détail aux chapitres 1 et 2. Nous devons préciser que ces deux études font partie d'un projet de recherche plus vaste portant sur l'effet d'un programme d'intervention préscolaire ciblant les comportements externalisés et les habiletés de littéracie émergente. Ce projet de recherche est dirigé par M. Marc Bigras, Ph.D (professeur au département de psychologie de l'UQAM) et Mme France Capuano, Ph.D. (professeure au département d'éducation de l'UQAM). Le devis de ce projet de recherche est de type quasi-expérimental. Il s'agit d'un projet subventionné par le Fonds québécois de la recherche sur la société et la culture (FQRSC). Ce projet de recherche fut mené en collaboration avec différentes commissions scolaires de la région de Montréal et de Sherbrooke

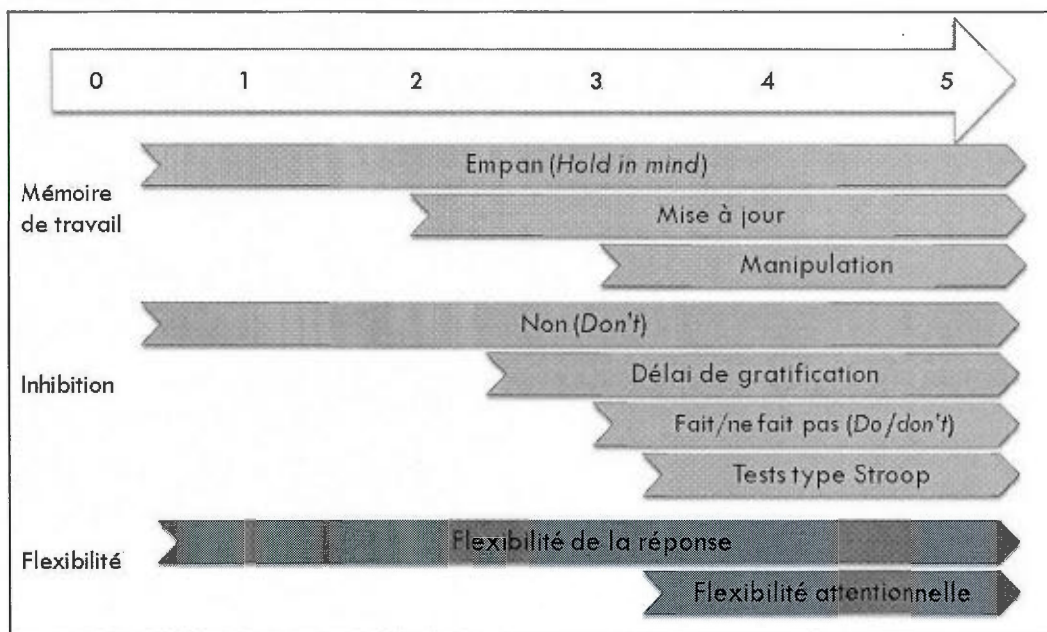
Tableau 1
Recension des études portant sur la structure factorielle des FE

Étude	Nbr de facteurs	Enfants préscolaires (2 à 6 ans)					
		MT	Flex	Inh	Plan	Fluence	Autres
Hughes (1998)	3	•	•	•			
Espy, McDermid, Cwik, Stalets, Hamby, & Seen (2004)	3	•	•	•			
Wiebe, Espy, & Charak (2008)	1						
Wiebe, Sheffield, Nelson, Clark, Chevalier, & Espy (2010)	1						
Enfants (6-12 ans)							
Levin et al (1991)	3		•		•		•
Welsh, Pennington, & Grosser (1991)	3			•	•		•
Levin et al (1996)	5			•	•	•	•
Pennington, Krasnegor Lyon, & Goldman-Rakic (1997)	4	•	•	•			•
Lehto, Juujarvi, Kooistra, & Pulkkinen (2003)	3	•	•	•			
Klenberg, Korkman, & Laiti-Nurtila (2001)	4			•		•	•
Brocki & Bohlh (2004)	3	•		•			•
Willcutt, Pennington, Olson, Chhabildas, & Hulslander (2005)	5	•	•	•			•
van der Sluis, de Jong, & van der Leij (2007)	2	•	•				
St-Clair-Thompson & Gathercole (2009)	2	•		•			
Adultes							
Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter (2000)	3	•	•	•			
Huizinga, Dolan, & van der Molen (2006)	2	•	•				
Mäntylä, Carell, & Forman (2007)	2	•	•				
Friedman, Miyake, DeFries, Corley, & Hewitt (2008)	3	•	•	•			
Hull, Martin, Becker, Lane, & Hamilton (2008)	2	•	•				
McAuley & White (2011)	3	•					•

Note. MT, mémoire de travail; Flex, flexibilité; Inh, inhibition; Plan, planification; Autres, autres composantes exécutives (par ex., attention sélective, attention soutenue, organisation) et non-exécutives (habiletés langagières, visuospatiales, motrices, etc.)

Figure 1

Développement des FE en bas âge



CHAPITRE II

THE ROLE OF THE EXECUTIVE FUNCTIONS IN SCHOOL ACHIEVEMENT AT THE END OF GRADE 1

Short title : Executive functions and early school achievement

The Role of the Executive Functions in School Achievement at the End of Grade 1

Sebastien Monette

Marc Bigras

Marie-Claude Guay

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

Introductory footnote

Corresponding author:

Sebastien Monette, M.Ps., Child psychologist

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

C.P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal (Québec), Canada, H3C 3P8

Email : sebastien_monette@hotmail.com

Marc Bigras, Ph.D., Full Professor

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

Marie-Claude Guay, Ph.D., Professor

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

This paper is presented as partial requirement of the Psy.D.-Ph.D. in psychology, Université du Québec à Montréal (UQAM). We would like to thank the three anonymous reviewers having contributed to this paper. The authors would also like to thank the families and research assistants who participated in this study. All correspondence concerning this paper must be addressed to the first author by e-mail: sebastien_monette@hotmail.com

This research was supported by the Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC) of Canada (grant number: 410-2006-2496).

We declare that this manuscript has not been published elsewhere and has not been submitted simultaneously for publication elsewhere.

Soumis, accepté et publié au Journal of Experimental Child Psychology (soumis le 12 juillet 2010, accepté en février 2011)

2.1 Abstract

The aim of this study was to determine the role of executive functions (EF) in early school achievement when a variety of potential confounding factors were controlled. Measures of EF (inhibition, flexibility, working memory) and school readiness were administered to a sample of 85 kindergarten children (39 boys, 46 girls, 5-6 years old). School achievement was then assessed at the end of grade 1. Results show math and reading/writing skills at the end of grade 1 to be associated with kindergarten EF. Only working memory contributed uniquely to the variance in school achievement after all covariates (pre-academic abilities, affective variables, family variables) were controlled and, even then, only with respect to math skills. On the other hand, working memory and inhibition had an indirect effect on reading/writing skills via anger-aggression. EF implication in school achievement is discussed in terms of task demands and child age.

Key words: executive functions, inhibition, flexibility, working memory, school achievement, mathematics, reading, social skills, aggressive behavior.

2.2 Introduction

A growing body of evidence points to the implication of an executive function (EF) deficit in a variety of childhood pathologies. Such a deficit has been linked to a) developmental psychopathologies such as ADHD, ASD, and Tourette's (Kenworthy, Yerys, Anthony, & Wallace, 2008; Pennington & Ozonoff, 1996), b) cerebral damage consecutive to a medical condition such as phenylketonuria and sickle cell disease (Azadi, Seddigh, Tehrani-Doost, Alaghband-Rad, & Ashrafi, 2009; Kral, Brown, & Hynd, 2001), and c) adverse environmental conditions such as early care deprivation (Stevens et al., 2008) and fetal alcohol spectrum disorder (Rasmussen, 2005). Along a parallel line, there has been mounting interest in understanding the specific role of EF in the cognitive and affective development of normative children. Although EF deficits and their adverse consequences can be observed at all developmental stages in humans, recent studies have focused on gaining a more thorough understanding of the preschool period for several reasons. First, preschool is a key period in the development of EF, especially at about the age of 4 years, when the central components of EF become more coordinated (Garon, Bryson, & Smith, 2008). Second, preschool skills have been found to be predictive of early and later child school achievement (Entwisle & Hayduk, 1988). This is no trivial matter considering the importance of formal schooling in most modern societies. Though some authors have recently reported links between EF and early school success (Blair & Razza, 2007; Espy et al., 2004; McClelland et al., 2007), this association had never been investigated within the context of a longitudinal study in which special attention was paid to controlling the many well established and potentially confounding factors that contribute to early school success, such as pre-academic abilities, socio-affective adaptation, mother's education and socioeconomic status, and in which efforts were made to avoid the numerous methodological pitfalls of EF measurement.

2.2.1 Executive Functions

EF consist of a set of hypothetical processes that enable the conscious control of thought and action to guide behavior toward a future goal. These processes typically include inhibition, working memory (WM), flexibility, planning, fluency, and concept formation. They can be viewed as a cognitive subcomponent of the larger self-regulation construct (Calkins & Marcovitch, 2010). Though it still lacks clarity, this psychological construct is nevertheless useful in clinical and scientific research (see Jurado & Rosselli, 2007, for a review).

Many researchers have posited inhibition, flexibility and WM as the main components of EF (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000). It has been hypothesized that these core executive functions are relatively distinct, though interrelated, and might explain performance on a variety of more complex EF tasks. Recent neuroimaging studies have tended to support this model, as the three components, although associated with relatively distinct brain areas, have also shown areas of common activation (Collette et al., 2005; McNab et al., 2008). This structural hypothesis is still a matter of debate, and all the more so when applied to young children. To date, few psychometric studies have addressed this question with preschool children, and they have yielded somewhat conflicting results. Whereas Hughes (1998) and Espy et al. (2004) did obtain the typical three-factor solution, Espy, Kaufmann, McDiarmid, and Glisky (1999) found four factors and, more recently, Wiebe, Espy, and Charack (2008) came up with only one using a confirmatory approach.

2.2.2 EF and Academic Achievement

In school-age children, reading and writing skills have been linked to WM (St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; van der Sluis, de Jong, & van der Leij, 2007;

Waber, Gerber, Turcios, Wagner, & Forbes, 2006), flexibility (Altemeier, Abbott, & Berninger, 2008; van der Sluis et al., 2007; Waber et al., 2006) and inhibition (Altemeier et al. 2008; Altemeier, Jones, Abbott, & Berninger, 2006; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; Taylor, Schatschneider, Petrilli, Barry, & Owens, 1996; Waber et al., 2006).

Math skills, for their part, have been linked to WM (Agostino, Johnson, & Pascual-Leone, 2010; Bull & Scerif, 2001; Lee, Ng, Ng, & Lim, 2004; Rasmussen & Bisanz, 2005; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; van der Sluis et al., 2007; Waber et al., 2006), flexibility (Agostino et al. 2010; Bull & Scerif, 2001; Waber et al., 2006) and inhibition (Agostino et al. 2010; Bull & Scerif, 2001; Rasmussen & Bisanz, 2005; St Clair-Thompson & Gathercole, 2009; Taylor et al., 1996; Waber et al., 2006).

Results suggest a general association between EF and academic achievement. However, a more subtle pattern of associations emerges upon closer scrutiny of the data. For example, in St Clair-Thompson and Gathercole (2009), WM was more strongly associated with school achievement than inhibition was. The strongest association was observed between WM and reading/writing achievement. In van der Sluis et al. (2007), too, WM predicted reading/writing achievement more strongly and uniquely than it did math achievement. In Taylor et al. (1996), once the covariates were controlled, inhibition explained variance only in reading/spelling skills. In Waber et al. (2006), higher correlations were observed between EF and reading/writing achievement than between EF and math achievement. It must be mentioned that almost all these studies focused on children 9 to 12 years old and that in this age group EF seem to be more strongly associated with reading/writing achievement.

Where preschoolers and young school-age children are concerned, fewer studies have been conducted on the relationship between EF and emerging reading/writing or math skills. In one of these, Espy et al. (2004) demonstrated that inhibition and WM predicted concurrent emerging math skills and that inhibition did so to a greater extent. Flexibility did not correlate with math skills. Once the covariates (age, vocabulary, mother's education, other EF) were entered in the model, only inhibition predicted math achievement, explaining 12% of the unique variance. In another study, Blair and Razza (2007) sought to predict concurrent and longitudinal math skills, phonemic awareness and letter knowledge in children 3 to 5 years old. Inhibition, as measured by the peg-tapping task, proved more strongly correlated with math skills than with phonemic awareness and letter knowledge at both times of measure. Once the covariates in the models (vocabulary, nonverbal IQ, effortful control, other EF, false-belief understanding) were controlled, only inhibition remained a significant predictor of the three emerging skills at the first time of measure, as it did at the second time of measure, but only for mathematics. McClelland et al. (2007) measured the relationship between inhibition, as assessed by the head-to-toe task, and vocabulary, literacy and math achievement in a vast sample of preschoolers. Two measurements were taken, at the beginning and end of pre-kindergarten. The children's inhibition capacities were used to predict performance on these three academic skills. At both times of measure, inhibition proved more strongly associated with math skills than with vocabulary and literacy. Brock, Rimm-Kaufman, Nathanson, and Grimm (2009), for their part, investigated the contribution of hot and cool EF to academic achievement (reading and math) in a sample of kindergarten children. They found that math achievement was predicted uniquely by cool EF (two inhibition tasks), that is, with numerous covariates controlled. This was not the case for reading achievement.

Bull, Espy, and Wiebe (2008) recently conducted an ambitious longitudinal study in which they tested a sample of 124 children three times from the ages of 4 to

7 years. They demonstrated that visual short-term memory and WM specifically predicted math achievement at each time of measure, while inhibition and flexibility predicted learning in general rather than learning in a specific domain. Clark, Pritchard, and Woodward (2010), for their part, measured EF in a group of children at age 4 years and sought to predict their math achievement at age 6 years. They showed that EF predicted math achievement over and above IQ and reading skills. They considered EF to be at least as powerful a predictor of math achievement as IQ at that age. Passolunghi, Mammarella, and Altoè (2008), instead, revealed that short-term memory and WM predicted math achievement in children in the first grade but that only WM remained a significant predictor in the second grade when verbal IQ and non-verbal IQ were controlled. In sum, EF, particularly WM and inhibition, appear to be more strongly associated with emerging math skills than with reading skills in preschoolers and young school-age children.

2.2.3 EF and Socio-Affective Functioning

Researchers who have investigated the association between EF and school achievement have sometimes controlled cognitive variables, such as IQ, vocabulary or pre-academic abilities, known to be related to school achievement (Laparo & Pianta, 2000). However, few studies have examined whether the association held up if child socio-affective variables were considered. Indeed, it is well documented that, after cognitive variables, child emotional or affective variables, such as anxiety, aggression, emotional regulation and social competence, are the next best predictors of school achievement (Downer & Pianta, 2006; Graziano, Reavis, Keane, & Calkins, 2007; Horn & Packard, 1985; Normandeau & Guay, 1998). Furthermore, EF have been shown to be associated with affective variables, primarily aggression (Raaijmakers et al., 2008) and emotional regulation, which are sometimes referred to as hot EF (Hongwanishkul, Happaney, Lee, & Zelazo, 2005). Consequently, affective variables might have a mediating effect between EF and school achievement. In this

regard, different theoretical models (Zelazo, Qu, & Kesek, 2010; Nigg, Martel, Nikolas, & Casey, 2010) have hypothesized that EF play a key role in emotional regulation by wielding a top-down influence on behavior.

2.2.4 Methodological Issues

The measurement of EF is strewn with pitfalls, and all the more so when working with preschoolers. Consequently, it was important for us to provide a valid assessment of EF in this study. The biggest problem in this regard seems to us to be the non-specificity or impurity of EF tests. Various authors have shown that these measure EF components and also other cognitive processes, such as language skills, visuospatial capacity, and fine motor skills. We took a number of steps to avoid this problem. First, the tests used were chosen on the basis of a literature review (Monette & Bigras, 2008). Then, the tests were selected after they and others not included in the study were field-tested extensively. Also, each basic component of EF (WM, flexibility, inhibition) was assessed using at least two measurements. We also tried to employ tests that solicited both verbal and non-verbal (visuospatial) skills. Finally, EF scores were calculated using factor analysis in order to obtain more refined and, therefore, more valid EF indicators.

2.2.5 Objective

The purpose of our study was twofold. First, we sought to determine the role of kindergarten EF (inhibition, flexibility, WM) in predicting school achievement in math and written language at the end of grade 1 and to test whether the relationship held when variables known to be reliable predictors of academic success were controlled. Second, we tested the hypothesis whether child socio-affective functioning acted as a mediating variable in the relationship between EF and school achievement.

2.3 Method

2.3.1 Participants

Our sample consisted of 85 children (39 boys, 46 girls) attending kindergarten in the suburban region of Sherbrooke (Quebec, Canada). The children were recruited in 24 regular classes distributed across 15 schools. We first contacted kindergarten teachers and when they were interested in participating in the study, a letter was sent to the parents of the children in their groups to solicit their participation. The children were 5 to 6 years old at the first time of measure (mean = 5 years 10 months, SD = 4 months). Children with a known sensory, motor or intellectual impairment were excluded. Nearly all (96%) the mothers of the children reported being born in Canada. Regarding annual income, 10% of the families reported less than \$20,000, 21% from \$20,000 to \$40,000, 18% from \$40,000 to \$60,000, 21% from \$60,000 to \$80,000 and 25% more than \$80,000. Nearly all (98%) the mothers were their child's biological mother; two were stepmothers. Where schooling is concerned, 33% of the mothers reported their highest level of education to be high school, 37% had a technical or pre-college education, and 30% attended college. In terms of family structure, 75% of the mothers lived with the child's father, 7% with the child's stepfather, and 17% with no other adult at home.

2.3.2 Procedure

The research project had two times of measure: midway through kindergarten (winter) and at the end of the first year of primary school (spring). In the winter of 2008, questionnaires were sent to the teachers of the participating children. Then, the families of these children were visited by two research assistants. On this occasion, one research assistant helped the parents complete the questionnaires and the other assistant administered the various tests to the child in a separate room. Children

received a small toy as a token of appreciation for their participation. In the spring of 2009, families were again contacted. Families filled out questionnaires sent to them by mail and the grade 1 teachers administered selected items from the WIAT-II to the participating children.

2.3.3 Measures at Time 1 (Kindergarten)

We based our choice of instruments on an exhaustive review of EF tests for preschool children (Monette & Bigras, 2008) and on the results of several earlier experiments performed with different samples of preschoolers. The final EF battery took about 35 minutes to administer and included the following tests:

Backward word span. In this test, the experimenter read out sequences of 2, 3 and 4 monosyllabic words (4 sequences of each length for 12 in all). Children had to repeat the sequence backward. To prevent frustration and discouragement, the subtest was discontinued if children made three consecutive errors in a block of a given length. Alloway, Gathercole, Willis, and Adams (2004) and Carlson, Moses, and Breton (2002) both showed that the backward word span correlated with other tests measuring the WM component of EF and was sensitive to developmental change during the preschool years. The score reported is the number of correct sequences given (range of 0 to 12).

Backward block span. Given that the majority of existing backward span tasks for preschool children were verbal (word, digit or counting span), we thought it would be interesting to use a visuospatial backward span as well. This would make it easier to extract the variance common to both WM tests. This test was similar to the one found in the Wechsler Memory Scale (WMS), but with only eight target blocks. The blocks were mounted on a pedestal and the experimenter pointed out a sequence. Children then had to reproduce the sequence in reverse. Sequences varied from 2 to 5

items (3 of each length for 12 in all). The score reported is the number of correct sequences given (range of 0 to 12).

Day-night test. We used the same task described in Gerstadt, Hong, and Diamond (1994). A series of 24 cards was presented to children, one at a time. Children had to say "night" when the experimenter presented a card with a blue sky and a sun, and "day" when the experimenter presented a card with a moon on a black background. This test is sensitive to age (Carlson, 2005), has been linked to other inhibition tests when vocabulary and age are controlled (Carlson & Moses, 2001), has also been linked to theory-of-mind skills (Carlson & Moses, 2001), and allows distinguishing between ADHD and ODD children (Thorell & Wählstedt, 2006). Simpson, Riggs, and Simon (2004) showed that the day-night test was strongly correlated with a non-verbal (pointing) equivalent of the test. The day-night test has also been linked to a pattern of frontal EEG activation (Wolfe & Bell, 2004), a finding that supports its validity as a measure of prefrontal-based inhibitory control. Reported are the number of uncorrected errors and the number of self-corrected errors (range of 0 to 24 for each).

Fruit Stroop. We adapted this task from the fruit Stroop developed by Archibald and Kerns (1999) for school-age children, which did not involve reading skills. We modified the task to make it easier for children 3 to 6 years old. In our version, there were only two types of fruit (apples and bananas) and two colors (yellow and red). The test consisted of four stages with four corresponding pages of stimuli. At the first stage, the experimenter showed children a page with colored squares (4 rows of 5, for a total of 20 per page). Children were told to name the color of the squares (yellow or red) as quickly as possible in 45 seconds. If children completed the page within the time limit, they were instructed to continue at the top of the page. If they made a mistake, the experimenter pointed it out and children had to correct themselves. At the second stage, children were presented a page with

colored apples and bananas. Children again had to name the colors, as in the first stage. At the third stage, children were presented a page with the same fruit, but with no color. Children were again asked to name the color of the fruit. At the last stage, children were presented the same fruit, but some were not the right color. Children were instructed to name the color the fruit would normally be "in real life". Archibald and Kerns found that the fruit Stroop showed good test-retest reliability (.82 to .93) and that it correlated with other EF tests, including the day-night test and the original Stroop with which it correlated most. Reported are the number of fruits correctly named and the number of errors made in the fourth condition.

Knock and tap. Part of the first edition of the NESPY battery, this is a two-step task. First, children must knock with a closed fist on the table whenever the experimenter taps on the table with the palm of the hand and vice versa, for 15 items arranged in pseudorandom order. Second, children must abide by a rule change and pound the table with the side of the hand whenever the experimenter knocks on the table with a closed fist and vice versa. If the experimenter taps the table with the palm of the hand, then children must stay still. This second step has 15 items as well. The knock-and-tap task is sensitive to developmental change (Klenberg, Korkman, & Lahti-Nuuttila, 2001), correlates with other inhibitory tests (Perner, Lang, & Kloos, 2002), and can differentiate children with ADHD from controls (Korkman, Kirk, & Kemp, 1998). The test was scored as follows: Children were given 2 points for a correct answer, 1 point for a self-corrected error, and 0 for an uncorrected error. Total scores for conditions 1 and 2 are reported (range of 0 to 30 for each).

Trails-P. For this test, we used a procedure very similar to the one described in Espy and Cwik (2004). There were three steps to the task. First, we presented children a family of mice illustrated on a sheet of cardboard. We explained that there was a baby, a sister, a brother, a mommy and a daddy mouse, each of a different color and size. In the second step, we gave children an 11x17 sheet of paper with the five

mice, and we asked them to draw a trail with a pencil of his choice to connect the five mice from the smallest to the biggest in increasing order of size. In the third step, we gave children another sheet of paper with the same five mice and five pieces of cheese corresponding in size and color to the mice. We again asked children to draw a trail from the smallest to the biggest mouse, connecting with each mouse's cheese before proceeding to the next mouse. If children committed an error at steps two or three, the experimenter pointed it out and had them resume from the last correct location. Espy and Cwik (2004) found that their Trails-P showed interesting psychometric properties, such as good test-retest reliability, age sensitivity, and absence of a ceiling effect for this age group. The score reported is the number of intraclass errors at the third step, that is, the number of times the child tried to connect a mouse directly to another mouse or a piece of cheese to another (range of 0 to 2). As in the original trail task, this kind of error was considered more closely and uniquely related to flexibility than might be a response-time score.

Card sort. This flexibility test has previously been described by Hughes (1998a, 1998b). It has been found to be sensitive to age (Hughes, 1998b), to load on the same factor as another flexibility test, to demonstrate test-retest reliability (Hughes, 1998b), and to be sensitive to autism-spectrum disorders (Pellicano, 2007). In this task, children must sort a series of cards presented by trying to guess which ones are the favorite cards of a teddy bear. After each response, the experimenter gives children feedback (right/wrong answer) to allow them to figure out the sort rule (phase1: sort by color, phase 2: sort by shape). The test comprises two phases, both involving a different teddy bear and a different pack of 20 cards with one of two shapes (square or triangle in phase 1) in one of two colors (red or green in phase 1). We used the same material and procedure as Hughes, except for the following: a) children were given the correct sorting rule at the end of the first phase if they did not find it themselves; b) the cards were presented in a fixed pseudorandom order; and c) the scoring system differed. We gave children the correct sorting rule and let them

practice it if they failed to arrive at it by themselves after sorting the 20 cards in the first phase of the test. This way, all the children habituated to the first sorting rule and, therefore, we could interpret second-phase consecutive color responses as perseverative. It seemed evident to us that we could not use the second-phase results as an indicator of flexibility if children did not first habituate to a sorting rule. We chose to score the test differently because the method used by Hughes (1998b) did not seem specific enough to measure cognitive flexibility. We devised a system to codify children's answers in the aim of measuring perseverative errors more directly. At the second phase, when children sorted cards to suggest that he thought teddy bear #2 liked blue cards (answer "yes" to blue cards and "no" to red cards) in more than three consecutive responses, children obtained one perseveration point. They received 2 points for a sequence of 4 responses, 3 points for a sequence of 5 responses, and so on. The same system applied if children sorted cards to suggest that they thought teddy bear #2 liked yellow cards. These perseveration points were tallied to yield a total perseveration score.

Lollipop Test. We used the Lollipop Test to measure children's pre-literacy and pre-math abilities in kindergarten. Developed by Chew (1981), this instrument is intended to measure school readiness in preschoolers. Easily administered, the Lollipop Test consists of exposing the child to seven stimulus cards and having him point to or name specific colors, forms, letters or numbers. Despite its simplicity, this instrument is an excellent predictor of later school success, even when IQ and socio-affective variables are controlled (Venet, Normandeau, Letarte, & Bigras, 2003). The test includes four subtests: a) identification of colors and shapes; b) description of images and spatial identification; c) identification of numbers and counting; and d) identification of letters and writing. The score reported is the total score.

Social Competence and Behavior Evaluation - 30 items (SCBE-30). The original 80-item Likert-rating scale was developed by LaFreniere, Dumas, Capuano,

and Dubeau (1992) to assess patterns of social competence, emotion regulation and expression, and adjustment difficulties in children age 30 to 78 months. LaFreniere and Dumas (1996) cut the instrument down to 30 items on the basis of item loadings within each of the three factors originally found, so that the 10 items with the highest loadings for each factor were retained. The SCBE-30 is divided into three subscales of 10 items each: anger-aggression, anxiety-withdrawal and social competence. The SCBE-30 has proved stable over time ($r = .63$ to $.86$ across three samples). It has also shown good internal consistency (Cronbach's alphas ranging from $.77$ to $.92$ across all samples and scales) and high inter-rater agreement ($r = .78$ to $.91$ across three samples). In this study, the SCBE-30 was completed by the kindergarten teacher. The questionnaires were sent out only after at least three months of schooling, to ensure that the teacher had become familiar with the children.

Sociodemographic data. A standard sociodemographic questionnaire was filled out by children's parent(s). Data concerning family structure, family income, parent's education, employment status, and ethnicity were collected through this instrument. Mother's education corresponded to the number of years of schooling completed and family income was reported on a Likert scale from 1 to 8 (i.e., 0\$-\$10K, \$10-\$20K, \$20-\$30K, \$30-\$40K, \$40-\$50K, \$50-\$60K, \$60-\$80K and \$80K or more).

2.3.4 Measures at Time 2 (End of Grade 1)

WIAT-II (Wechsler Individual Achievement Test - Second Edition). The French version of the WIAT-II (Wechsler, 2005) was used as a scholastic attainment test. For this study, we chose to use the following subtests: a) word reading (items 1 to 3); b) numerical operations (items 1 to 5 and 7 to 15); c) reading comprehension (items 1 to 5); d) spelling (items 1 to 12); and e) mathematical reasoning (items 1 to 15). The items were selected bearing in mind that the WIAT-II would be administered by the teachers at the end of grade 1 in a group setting. Detailed

instructions were sent to the teachers to help them in this task. A phone number was provided so that teachers could obtain assistance at anytime. Scores from the word reading, reading comprehension and spelling subtests were tallied to create a written-language composite score, and scores from the numerical operations and mathematical reasoning subtests were tallied to create a math composite score.

2.3.5 Data Reduction

The data were analyzed using SPSS 17.0. The scores yielded by the battery of EF tests were subjected to a factor analysis in an attempt to extract from them more refined and, therefore, more valid EF indicators. Certain scores were subjected to a transformation (square root or log10) to reduce skewness, a common problem in the evaluation of EF in young children. Out of 10 scores, 6 had to be transformed (day-night test uncorrected errors and self-corrected errors, trails-p switch errors, card-sort perseveration score, knock-and-tap conditions 1 and 2) in order to meet the criteria for normality and linearity necessary for subsequent analyses. Then some scores were inverted (multiplied by -1) so that all high scores would indicate competence in the test, in order to facilitate the interpretation of the factors. Components were determined based on a scree plot. Factors with eigenvalues greater than 1 were retained. The oblimin rotation method was used beforehand given that EF tend to correlate among themselves.

2.3.6 Mediation Analysis

Mediation effects were analyzed using a multiple mediation model with all SCBE subscales entered simultaneously. In these analyses, the EF components were the predictors, school achievement (reading/writing and math) was the outcome variable, and social competence, anxiety-withdrawal and anger-aggression served as mediators. Lollipop Test score, sex, age, mother's education and family income were

entered as covariates. Mediation was investigated by testing the significance of the indirect effect of the independent variable (IV) on the dependent variable (DV) through the mediator (M). This was quantified as the product of the effect of the independent variable on the mediator (a) and the effect of the mediator on the dependent variable (b), thus partialling out the effect of the independent variable. Following suggestions made by Preacher and Hayes (2008), we used a bootstrapping approach in which a point estimate of the indirect effect was derived from the mean of the 5000 estimates of the indirect effects ($a*b$) and 95% percentile-based bias-corrected and accelerated confidence intervals were computed. Indirect effects were considered to be significant when the confidence interval did not include zero. This method allows obtaining more valid estimates than does the Sobel method in studies with small samples such as ours. In our study, bootstrapping was carried out using the SPSS macro provided by Preacher and Hayes (2008).

2.4 Results

2.4.1 Factor Structure

Table 1 presents the factor loading with oblimin rotation. Descriptive statistics for each EF test are presented in Table 2. Three factors emerged: variables known to be related to WM (backward block span, backward word span), fruit Stroop total score, and day-night test uncorrected errors loaded on the first factor; the two flexibility tests (trails-P and card sort) loaded on the second factor; and, finally, the other scores related to inhibition (day-night test self-corrected errors, fruit Stroop errors, knock-and-tap conditions 1 and 2) and the card sort perseveration score loaded on the third factor. Composite scores were then created using the factor loadings. We chose to name factor 1 “working memory”, factor 2 “flexibility” and factor 3 “inhibition”, although we must admit that the variables that make up factor 1 include both measures of WM and of inhibition. Concerning the variable “day-night test

uncorrected errors”, it is possible that its association to the WM factor is due to a goal neglect phenomenon; children that forget the instructions during the day-night test are invariably left with a very high uncorrected error score and a very low self-corrected errors score. Certain authors (Kane & Engle, 2003) have established that individuals having a low WM capacity commit a greater number of goal neglects. It seems more difficult to explain the presence of the variable “fruit stroop total” in factor 1. This variable corresponds to the number of fruits correctly named in the interference condition. It is possible that this variable is more related to processing speed, which is itself usually strongly correlated to WM, and that the number of errors on this test is a better indicator of inhibition capacities. We maintained the oblimin rotation given that the WM factor was significantly correlated with the inhibition factor ($r = .32$, $p < .01$), a common result in factorial studies of EF.

2.4.2 Correlation Analysis

Table 2 gives the mean scores, standard deviations and correlations of the academic composite scores, the EF factor scores and tests scores, and the covariates. Most of the kindergarten variables showed a significant correlation with grade 1 outcomes, with the exception of flexibility, family income, sex and age. WM, inhibition, Lollipop Test score, the three SCBE scales and mother’s education measured in kindergarten (Time 1) allowed predicting school achievement 18 months later at the end of grade 1 (Time 2). More specifically, WM has proved moderately correlated ($r = .51$ and $r = .46$, $p < .01$) to achievement in reading/writing and math, respectively. Inhibition has proved weakly correlated ($r = .24$, $p < .05$) only to reading/writing performance. We also noted that Lollipop Test score correlated more strongly with reading achievement than with math achievement. Moreover, we observed no relation between age and sex, respectively, and EF. These results are hardly surprising for two reasons. First, the majority of past studies found no sex difference relative to EF and, second, the study sample fell within a very narrow age

range. Ongoing research by our team has demonstrated that all the scores of this battery of EF tests are sensitive to age when the tests are used on a sample with a wider age range (4 to 6 years; Monette, Trépanier, & Bigras, accepted).

2.4.3 Mediation Analysis

Multiple mediator models in which the three SCBE subscales (social competence, anger-aggression, anxiety-withdrawal) were entered simultaneously allowed investigating the indirect effects of the different SCBE subscales while controlling the effect of the other subscales. Mediation analysis also controlled Lollipop Test score, sex, age, mother's education and family income. At this stage, the variables were standardized (transformed into a Z-score) in order to facilitate the interpretation of the coefficients. Results are summarized in Table 3. For math achievement, only WM showed a significant total effect ($\beta = .40$, $p < .01$) and a significant direct effect ($\beta = .32$, $p < .05$); no indirect effects were found. This direct effect accounted for 5% of the variance in math achievement. For reading/writing, only WM showed a significant total effect ($\beta = .31$, $p < .01$) and no EF showed a direct effect. It seems that the inclusion of covariables in the analyses had for effect to render non-significant the initial correlation between inhibition and reading performance. Subsequently, adding socioaffective variables in the model resulted in the direct effect of WM on reading/writing becoming non-significant, indicating a full mediating effect. However, WM and inhibition were found to have small but significant indirect effects ($\beta = .11$ and $.09$, respectively) on reading/writing, in both cases via anger-aggression. Among the covariates, only Lollipop Test score proved a significant predictor of unique variance ($\beta = .30$ to $.41$, $p < .01$) and, then, only in the case of reading/writing achievement.

2.5 Discussion

The main purpose of this study was to determine the degree to which distinct but overlapping aspects of EF in young children were associated with school achievement at the end of grade 1 and to test potential mediating effects of socio-affective variables. First and foremost, the results indicate that WM and inhibition measured in kindergarten allow predicting reading/writing and math achievement at the end of grade 1. The association between WM and reading/writing and that between WM and math were comparable, reaching the level of a moderate effect size ($r = .51$ and $.46$, $p < .01$, respectively). Inhibition proved associated significantly with reading/writing achievement alone, but the effect size reached was small ($r = .24$, $p < .05$). No relationship emerged between flexibility and school achievement.

In the case of math achievement, the multiple mediation analysis showed that, of the three EF components identified, only WM proved a unique predictor of achievement and no mediation effect emerged. In fact, the analyses demonstrated WM to be the most significant variable in math achievement in this study. These results are generally in line with those of the studies mentioned in the introduction, which indicate that EF play a more significant, if not more direct, role in math achievement at a young age than in reading/writing achievement. We might add that this is also the case when socio-affective functioning is taken into account.

Most studies conducted on young children (Espy et al., 2004; Blair & Razza, 2007; McClelland et al., 2007; Brock et al., 2009), however, have found a closer relationship between inhibition and math, whereas we observed a closer tie between WM and math. Other authors, however, have reported results similar to ours (Bull et al., 2008; Passolunghi et al., 2008). There are two possible explanations for this. First, among the studies that reported a closer link between inhibition and math, Espy et al. (2004) was the only one to measure WM. Consequently, it was not possible for the

others to compare the effects of WM and inhibition. Second, except again for Espy et al. (2004), these studies used the EF test scores as independent variables instead of using a composite score or a score derived from factor analysis. It may well be, then, that the variance attributable to non-executive processes influenced the relationship between EF and school achievement.

We believe that the direct relationship between WM and math achievement can be explained by the nature of the math tasks that the children were asked to complete. For example, the math tests we chose required the child above all to solve equations on paper (e.g., $8 + 5 = ?$) and problems presented verbally and visually by an evaluator (e.g., an illustration of 7 ducks on a pond is presented and the child is asked: "How many ducks would there be if two flew away?"). As the addition and subtraction of simple numbers is not yet automatic at this age, it is very likely that this sort of task makes strong demands on EF, particularly WM. Rasmussen and Bisanz (2005) demonstrated that young children dealt with math problems using a "mental model", that is, visuospatial representations, rather than considering them in terms of symbolic language and recalling math facts, which is what children with more years of schooling do instead. In this regard, neuroimaging studies have shown mental calculation skills to be associated, among other things, with the prefrontal regions and that this was all the more true in children (Kucian, von Aster, Loenneker, Dietrich, & Martin, 2008). These regions are also strongly associated with EF.

In the case of reading/writing achievement, results proved very different. Multiple mediation analysis demonstrated that none of the three EF components allowed predicting reading/writing achievement uniquely. Of the variables examined, child pre-academic knowledge in kindergarten, as measured with the Lollipop Test, and anger-aggression were the two most significant variables in predicting reading/writing achievement. However, WM and inhibition were found to have indirect effects on reading/writing achievement via anger-aggression. Children's level

of anger-aggression had a complete mediating effect on the relationship between EF and reading/writing.

We believe that the significant relationship between pre-academic knowledge and reading/writing can also be explained by taking a closer look at the tasks that the children had to complete. The reading/writing tasks we chose placed an emphasis on: 1) reading of individual words (e.g., the word “red” is written out and the child must point to the correct visual response from among a green, a yellow and a red crayon) and 2) writing of individual words (only specific phoneme-to-grapheme transcriptions were scored). It is clear that this sort of task is very different from the reading/writing tasks that children must complete towards the end of primary school. In this regard, Fitzgerald and Shanahan (2000) proposed a developmental model of the processes shared by reading and writing. Under this model, these processes play a different role at different stages of development. For example, the model predicts that the shared processes critical at this stage of development (6-7 years: stage 2) are graphophonic knowledge, phonological awareness, and grapheme awareness. These are essentially domain-specific skills. However, the more the years of schooling, the more the child must read full sentences and then entire texts and not only single words. At stage 3 of their model (8-12 years), more complex skills become central to the capacity to read and write: knowledge of morphology, syntax and text organization. Reading long texts requires more than just decoding and recognizing words. It requires keeping the ideas of the text in WM in order to make sense of what follows. As for writing, the same sort of progression is observed, that is, the child must write individual words, complete sentences and then structured texts. Writing a text probably requires WM capacity in order to plan the order of the paragraphs and to correct mistakes. This is presumably less the case for a phoneme-to-grapheme transcription task, which seems to rest more on the automatic retrieval of data from long-term memory. As EF do not allow explaining unique variance, emerging reading/writing skills (grapheme-to-phoneme correspondence and phoneme-to-

grapheme transcription) may be of the sort that become rapidly automated. In this connection, neuroimaging studies have shown that decoding (grapheme-to-phoneme correspondence) relies primarily on parieto-temporal networks (Shaywitz, Lyon, & Shaywitz, 2006), which are hardly associated with EF.

However, EF (inhibition and WM) proved significant indirect predictors of emerging reading/writing skills via a socio-affective variable: anger-aggression. Inhibition and WM, therefore, could play an indirect role in learning to read and write by having an influence on the regulation of anger-aggression. For example, inhibition allows preventing automatic or prepotent responses. Children who experience anger in the face of frustrating situations may have greater difficulty learning owing to the absence of an appropriate regulatory mechanism, which causes them to give in to the prepotent response of aggression. Moreover, WM can allow a child who experiences this anger to talk to himself (subvocalization) or to imagine (visualize) a complex internal scene such as an alternative solution to aggression or even an imaginary revenge scenario. The data collected in our study suggest also that the possibility offered by EF of regulating emotions such as anger might facilitate the learning of academic content. It is recognized that children with behavioral problem often have difficulty with the learning of reading and writing (Trzesniewski, Moffitt, Caspi, Taylor, & Maughan, 2006). We are not alone to have observed a closer tie between socio-affective variables and the learning of reading than between these variables and the learning of math (Hooper, Roberts, Sideris, Burchinal, & Zeisel, 2010), although few researchers have investigated the issue in a normative sample. Different hypotheses might explain this relationship. For one, it may be that the reading difficulties of aggressive children are connected to a more general problem at the level of receptive-expressive language, as these children often have weaker language skills (Stevenson, 1996).

Reading and writing also involve a decidedly more social aspect, at least at the more advanced stages of development. For example, returning to the model proposed by Fitzgerald and Shanahan (2000), the last stages (4, 5, 6) require abilities such as meta-knowledge and knowing how to look at things from the viewpoint of others. These abilities are clearly related to socio-affective functioning and social cognition. In this regard, it is recognized that children with a major social impairment, such as autism, have major difficulties with these more “social” aspects of reading and writing (Randi, Newman, & Grigorenko, 2010). From this perspective, then, it stands to reason that a less severe socio-affective problem, such as a high level of anger-aggression, could affect certain social cognition abilities that are useful in reading.

Our study has many strong suits: longitudinal design, multiple measures of EF, inclusion of numerous covariates, and measurement of two academic skills. These have been signaled out as top-priority features to be integrated in the research designs of studies examining the relationship between EF and school achievement (Müller, Liebermann, Frye, & Zelazo, 2008). However, the size of the sample was small. The study would have benefitted from a more sophisticated measure of global cognitive functioning (e.g., WPPSI-III). However, it is very hard to administer several tests to young children in one session. Studies involving preschooler samples should plan for several sessions of evaluation so as to be able to apply multiple direct measures. Research on EF would stand to benefit from studies using a confirmatory approach, study designs that allow measuring EF adequately and thoroughly, and more fundamental studies exploring the links between hot and cold EF, speed of information processing and attention processes (selective, sustained, divided). Finally, the use of several types of reading/writing and math tasks would allow qualifying the role of EF in different types of academic learning more clearly, as evidenced by such authors as Agostino et al. (2010), Altemier et al. (2006, 2008) and Rasmussen and Bisanz (2005).

Table 1
Factor analysis pattern matrix for executive functions tests

Executive functions test score	Factor loading		
	1 (WM)	2 (FLEX)	3 (INH)
Backward word span	.83		
Backward block span	.67		
Fruit stroop (total)	.69		
Day-night test (uncorrected errors)	.70		
Trails-P (switch errors)		.89	
Card sort (perseveration)		.57	.46
Knock and tap (step 2 score)			.40
Fruit stroop (errors)			.62
Knock and tap (step 1 score)			.76
Day-night test (self-corrected errors)			.58
Factor correlations			
Factor 1	--		
Factor 2	.13	--	
Factor 3	.32**	.07	--

* $p < .05$, ** $p < .01$

Note. Values < 0.40 were discarded. WM, working memory factor; FLEX, flexibility factor; INH, inhibition factor.

Table 2
Descriptive statistics and correlations among variables

Variable	M	SD	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1. Reading ^a	.63	.29	—																					
2. Math ^b	1.78	.44	.53**	—																				
3. WM	0.00	1.00	.51**	.46**	—																			
4. FLEX	0.00	1.00	.13	.06	.13	—																		
5. INH	0.00	1.00	.24*	.16	.32**	.07	—																	
6. Bword	4.73	2.12	.38**	.40**	.80**	.21	.12	—																
7. Bblo	5.13	2.67	.42**	.38**	.71**	.45**	.24	.52**	—															
8. Fruitor	28.38	8.56	.35**	.29**	.73**	.02	.39**	.49**	.34**	—														
9. DNet ^c	1.79	.28	.36**	.27*	.68**	.17	.26*	.33**	.30**	.36**	—													
10. Trails	1.68	1.73	.07	.01	.04	.87**	-.06	.09	.27**	-.04	-.11	—												
11. Card sort ^d	1.73	.26	.23*	.05	.26*	.61**	.51**	.23*	.26*	.23*	.11	.29**	—											
12. Knock2 ^e	1.58	.33	.24*	.18	.45**	.19	.50**	.16	.36**	.31**	.29**	.07	.26*	—										
13. Fruitor	6.22	1.74	.20	.09	.12	-.15	.59**	.12	.14	.16	.05	-.07	.10	.16	—									
14. Knock1 ^f	1.76	.32	.11	.13	.21	.13	.75**	.11	.17	.27*	.17	.00	.35**	.33**	.16	—								
15. DNet ^c	1.76	.23	.16	.17	.28**	.12	.61**	.17	.25*	.24*	.23*	.08	.23*	.11	.26*	.28**	—							
16. Lollipop	59.01	7.36	.52**	.32**	.59**	.06	.28**	.56**	.40**	.46**	.30**	.03	.11	.31**	.24*	.15	.24*	—						
17. Social	3.94	0.83	.35**	.36**	.45**	.19	.26*	.39**	.30**	.37**	.26*	.15	.22*	.28**	.09	.19	.21*	.36**	—					
18. Anxiety	1.89	0.66	-.24*	-.25*	-.39**	.08	-.24*	-.29**	-.16	-.35**	-.31**	.06	-.08	-.18	-.21	-.04	-.28**	-.41**	-.61**	—				
19. Aggression	1.80	0.66	-.35**	-.26*	-.39**	.10	-.33**	-.20	-.26*	-.40**	-.30**	-.06	-.26*	-.28**	-.16	-.24*	-.13	-.16	-.64**	.21*	—			
20. Mat educ	14.15	3.16	.37**	.27*	.38**	.03	.42**	.38**	.10	.18	-.12	.16	.23*	.27*	.01	.15	.41**	.30**	-.26*	-.16	—			
21. Income	5.73	2.14	.13	.04	.13	-.03	.16	.17	.15	.04	.03	-.13	.09	.01	.09	.08	.23*	.16	.14	-.17	-.13	—		
22. Sex	1.54	0.50	.15	.05	-.01	.06	.02	.00	-.04	.03	.04	.18	-.03	-.07	.12	.01	.03	.16	.31**	-.27*	-.09	-.06	.05	—
23. Age	70.32	4.13	.01	.11	.15	.21	.06	.19	.15	.08	.06	.20	.16	.01	.07	.08	.02	.13	.08	-.11	-.01	.09	-.08	.20

* $p < .05$. ** $p < .01$.

Notes. Reading: WIAT-II reading/writing composite; Math: WIAT-II math composite; WM: working memory factor; FLEX: flexibility factor; INH: inhibition factor; Bword: backward word span; Fruitor: Fruitor, fruit Stroop total; DNet: day-night test errors; Trails: trails-p switch errors; card sort: card sort perseveration score; knock2, knock1 and tap condition 2; Fruitor: Fruitor, fruit Stroop errors; Knock1, knock and tap condition 1; DNet: day-night test self-corrected errors; Mat educ: mother's education (in years); Income: family income (Likert 1-5); Sex: sex of the child (boy=1, girl=2); Age: age of the child (in months).

^a Variables transformed using a LOG procedure to meet normality requirement. Transformed scores are reported.

^b Variable transformed using a SQRT procedure to meet normality requirement. Transformed scores are reported.

Table 3
Summary of multiple mediation analysis (5000 bootstraps), controlling for all covariates

Independent variable (IV)	Mediating variable (M)	Effect of IV on M (a)	Effect of M on DV (b)	Direct effect (c)	Indirect effect (ab)	95% CI	Total effect (c)	R ²	Partial effect of covariates				
									bol	sex	age	matedu	income
DV=Maths													
WM	Competence	.38 **	.18	.32 *	.07	(-.04-.29)	.40 **	.25 **	.04	.00	.03	.11	-.07
	Anxiety	-.24	.01		.00	(-.10-.11)							
	Aggression	-.47 **	-.01		.00	(-.20-.14)							
Flexibility	Competence	.16	.21	-.02	.03	(-.01-.19)	.02	.20 *	.18	-.06	.06	.14	-.08
	Anxiety	.12	-.02		.00	(-.09-.04)							
	Aggression	-.09	-.09		.01	(-.02-.08)							
Inhibition	Competence	.16	.21	.01	.03	(-.01-.17)	.07	.20 *	.18	-.06	.06	.14	-.08
	Anxiety	-.13	-.02		.00	(-.04-.11)							
	Aggression	-.30 **	-.09		.03	(-.08-.12)							
DV=Reading/writing													
WM	Competence	.38 **	-.09	.24	-.03	(-.17-.08)	.31 **	.41 **	.30 **	.16	-.11	.19	-.06
	Anxiety	-.24	.05		-.01	(-.10-.05)							
	Aggression	-.47 **	-.24		.11	(.01-.25)							
Flexibility	Competence	.16	-.12	.11	-.02	(-.10-.02)	.11	.39 **	.41 **	.12	-.11	.22 *	-.07
	Anxiety	.12	-.03		.00	(-.06-.03)							
	Aggression	-.09	-.31 **		.03	(-.03-.11)							
Inhibition	Competence	.16	-.06	.03	-.01	(-.09-.03)	.10	.38 **	.41 **	.12	-.09	.21	-.07
	Anxiety	-.13	.02		.00	(-.06-.03)							
	Aggression	-.30 **	-.29 *		.09	(.02-.20)							

* $p < .05$, ** $p < .01$.

Notes. All coefficients represent standardized regression coefficients while controlling for Lollipop Test score, children's sex, children's age, mother's education and family income.

2.6 References

- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 285-305.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A. M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 85-106.
- Altemeier, L. E., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30, 588 - 606.
- Altemeier, L., Jones, J., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2006). Executive functions in becoming writing readers and reading writers: Note taking and report writing in third and fifth graders. *Developmental Neuropsychology*, 29, 161 - 173.
- Archibald, S. J., & Kerns, K. A. (1999). Identification and description of new tests of executive functioning in children. *Child Neuropsychology*, 5, 115-129.
- Azadi, B., Seddigh, A., Tehrani-Doost, M., Alaghband-Rad, J., & Ashrafi, M. (2009). Executive dysfunction in treated phenylketonuric patients. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 18, 360-368.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78, 647-663.

- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of 'hot' and 'cool' executive function to children's academic achievement, learning-related behaviors, and engagement in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly, 24*, 337-349.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology, 33*, 205 - 228.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematical ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology, 19*, 273-293.
- Calkins, S. D., & Marcovitch, S. (2010). Emotion regulation and executive functioning in early development: Integrated mechanisms of control supporting adaptive functioning. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: At the intersection of emotion and cognition* (pp. 37-58). Washington: APA.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology, 28*, 595-616.
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development, 72*, 1032-1053.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Breton, C. (2002). How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development, 11*, 73-92.

- Chew, A. L. (1981). *The Lollipop Test: A diagnostic screening test of school readiness*. Atlanta: Humanics Limited.
- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology, 46*, 1176-1191.
- Collette, F., van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., et al. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping, 25*, 409-423.
- Downer, J. T., & Pianta, R. C. (2006). Academic and cognitive functioning in first grade: Associations with earlier home and child care predictors and with concurrent home and classroom experiences. *School Psychology Review, 35*, 11-30.
- Entwisle, D. R., & Hayduk, L. A. (1988). Lasting effects of elementary school. *Sociology of Education, 61*, 147-159.
- Espy, K. A., & Cwik, M. F. (2004). The development of a trail making test in young children: The TRAILS-P. *The Clinical Neuropsychologist, 18*, 411-422.
- Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D., & Glisky, M. L. (1999). Executive functioning in preschool children: Performance on A-not-B and other delayed response format tasks. *Brain and Cognition, 41*, 178-199.

- Espy, K. A., McDiarmid, M. D., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 6, 465-486.
- Fitzgerald, J., & Shanahan, T. (2000). Reading and writing relations and their development. *Educational Psychologist*, 35, 39-50.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31-60.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 3 ½ - 7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.
- Graziano, P. A., Reavis, R. D., Keane, S. P., & Calkins, S. D. (2007). The role of emotion regulation in children's early academic success. *Journal of School Psychology* 45, 3-19.
- Hongwanishkul, D., Happaney, K. R., Lee, W. S. C., & Zelazo, P. D. (2005). Assessment of hot and cool executive function in young children: Age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, 28, 617-644.
- Horn, W. F., & Packard, T. (1985). Early identification of learning problems: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 77, 597-607.
- Hooper, S. R., Roberts, J., Sideris, J., Burchinal, M., & Zeisel, S. (2010). Longitudinal predictors of reading and math trajectories through middle school

for African American versus Caucasian students across two samples. *Developmental Psychology*, 46, 1018-1029.

Hughes, C. (1998a). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253.

Hughes, C. (1998b). Finding your marbles: Does preschoolers' strategic behavior predict later understanding of mind? *Developmental Psychology*, 34, 1326-1339.

Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychological Review*, 17, 213-233.

Kenworthy, L., Yerys, B. E., Anthony, L. G., & Wallace, G. L. (2008). Understanding executive control in autism spectrum disorders in the lab and in the real world. *Neuropsychological Review*, 18, 320-338.

Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 47-70.

Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuuttila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20, 407-428.

Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (1998). *NESPY: A developmental neuropsychological assessment*. San Antonio: The Psychological Corporation.

- Kral, M., Brown, R., & Hynd, G. (2001). Neuropsychological aspects of pediatric sickle cell disease. *Neuropsychology Review*, 11, 179-196.
- Kucian, K., von Aster, M., Loenneker, T., Dietrich, T., & Martin, E. (2008). Development of neural networks for exact and approximate calculation: A fMRI study. *Developmental Neuropsychology*, 33, 447-473.
- LaFreniere, P. J., & Dumas, J. E. (1996). Social competence and behavior evaluation in children ages 3 to 6 years: The short form (SCBE-30). *Psychological Assessment*, 8, 369-377.
- LaFreniere, P. J., Dumas, J. E., Capuano, F., & Dubeau, D. (1992). Development and validation of the preschool socioaffective profile. *Psychological Assessment*, 4, 442-450.
- LaParo, K. M., & Pianta, R. C. (2000). Predicting children's competence in the early school years: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 70, 443-484.
- Lee, K., Ng, S. F., Ng, E. L., & Lim, Z. Y. (2004). Working memory and literacy as predictors of performance on algebraic word problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 89, 140-158.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, 43, 947-959.

- McNab, F., Leroux, G., Strand, F., Thorell, L., Bergman, S., & Klingberg, T. (2008). Common and unique components of inhibition and working memory: An fMRI, within-subjects investigation. *Neuropsychologia*, 46, 2668-2682.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex frontal lobes tasks: A latent variables analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Monette, S. & Bigras, M. (2008). La mesure des fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire [Measuring executive functions in preschoolers]. *Psychologie Canadienne/Canadian Psychology*, 49, 323-341.
- Monette, S., Trépanier, G., & Bigras, M. (2011, March, submitted). *Executive functions in preschoolers: An exploratory study with recent tasks*. Poster presented at the 2011 convention of the Society for Research in Child Development (SRCD), Montreal, Quebec.
- Müller, U., Liebermann, D., Frye, D., & Zelazo, P. D. (2008). Executive function, school readiness and school achievement. In S. K. Thurman & C. A. Fiorello (Eds.), *Applied cognitive research in K-3 classrooms*. (pp. 41-84). New York: Taylor and Francis.
- Nigg, J. T., Martel, M. M., Nikolas, M., & Casey, B. J. (2010). Intersection of emotion and cognition in developmental psychopathology. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: At the intersection of emotion and cognition* (pp. 225-246). Washington: APA.

- Normandeau, S., & Guay, F. (1998). Preschool behavior and first grade school achievement: The mediational role of cognitive self-control. *Journal of Educational Psychology, 90*, 111-121.
- Passolunghi, M. C., Mammarella, I. C., & Altoè, G. (2008). Cognitive abilities as precursors of the early acquisition of mathematical skills during first through second grades. *Developmental neuropsychology, 33*, 229-250.
- Pellicano, E. (2007). Links between theory of mind and executive function in young children with autism: Clues to developmental primacy. *Developmental Psychology, 43*, 974-990.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*, 51-87.
- Perner, J., Lang, B., & Kloo, D. (2002). Theory of mind and self-control: More than a common problem of inhibition. *Child Development, 73*, 752-767.
- Preacher, K. J., & Hayes, A. F. (2008). Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. *Behavior Research Methods, 40*, 879-891.
- Raaijmakers, M., Smidts, D., Sergeant, J., Maassen, G., Posthumus, J., van Engeland, H., et al. (2008). Executive functions in preschool children with aggressive behavior: Impairments in inhibitory control. *Journal of Abnormal Child Psychology, 36*, 1097-1107.

- Randi, J., Newman, T., & Grigorenko, E. (2010). Teaching children with autism to read for meaning: Challenges and possibilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40, 890-902.
- Rasmussen, C. (2005). Executive functioning and working memory in fetal alcohol spectrum disorder. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 29, 1359-1367.
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 137-157.
- Shaywitz, B. A., Lyon, G. R., & Shaywitz, S. E. (2006). The role of functional magnetic resonance imaging in understanding reading and dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 30, 613-632.
- Simpson, A., Riggs, K. J., & Simon, M. (2004). What makes the window task difficult for young children: Rule inference or rule use? *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 155-170.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2009). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 745-759.
- Stevens, S. E., Sonuga-Barke, E. J. S., Kreppner, J. M., Beckett, C., Castle, J., Colvert, E., et al. (2008). Inattention/overactivity following early severe institutional deprivation: Presentation and associations in early adolescence. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36, 385-398.

- Stevenson, J. (1996). Developmental changes in the mechanisms linking language disabilities and behaviour disorders. In J. H. Beitchman, N. Cohen, M. M. Konstanterreas, & R. Tannock (Eds.), *Language, learning and behavior disorders* (pp. 78–99). Cambridge: Cambridge University Press.
- Taylor, H. G., Schatschneider, C., Petrill, S., Barry, C. T., & Owens, C. (1996). Executive function in children with early brain disease: Outcomes post haemophilus influenzae meningitis. *Developmental Neuropsychology*, 12, 35–51.
- Thorell, L. B., & Wåhlstedt, C. (2006). Executive functioning deficits in relation to symptoms of ADHD and/or ODD in preschool children. *Infant and Child Development*, 15, 503–518.
- Trzesniewski, K. H., Moffitt, T. E., Caspi, A., Taylor, A., & Maughan, B. (2006). Revisiting the association between reading achievement and antisocial behavior: New evidence of an environmental explanation from a twin study. *Child Development*, 77, 72–88.
- van der Sluis, S., de Jong, P. F., & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence*, 35, 427–449.
- Venet, M., Normandeau, S., Letarte, M.-J., & Bigras, M. (2003). Mesure et évaluation: Les propriétés psychométriques du Lollipop [Measurement and evaluation: The psychometric properties of the Lollipop Test]. *Revue de Psychoéducation*, 32, 165–176.

- Waber, D. P., Gerber, E. B., Turcios, V. Y., Wagner, E. R., & Forbes, P. W. (2006). Executive functions and performance on high-stakes testing in children from urban schools. *Developmental Neuropsychology*, 29, 459-477.
- Wechsler, D. (2005). *Wechsler Individual Achievement Test – Second Edition (WIAT-II)*. Toronto: Harcourt.
- Wiebe, S. A., Espy, K. A., & Charack, D. (2008). Using confirmatory analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Neuropsychology*, 44, 575-587.
- Wolfe, C. D., & Bell, M. A. (2004). Working memory and inhibitory control in early childhood: Contributions from physiology, temperament, and language. *Developmental Psychobiology*, 44, 68-83.
- Zelazo, P. D., Qu, L., & Kesek, A. C. (2010). Hot executive function: Emotion and the development of cognitive control. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: At the intersection of emotion and cognition* (pp. 97-112). Washington: APA.

CHAPITRE III

EXECUTIVE FUNCTIONS IN KINDERGARTENERS WITH HIGH LEVELS OF DISRUPTIVE BEHAVIOURS

Short title : Executive functions and disruptive behaviours

Executive Functions in Kindergarteners with High Levels of Disruptive Behaviours

Sebastien Monette

Marc Bigras

Marie-Claude Guay

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

Introductory footnote

Corresponding author:

Sebastien Monette, M.Ps., Child psychologist

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

C.P. 8888, succursale Centre-Ville, Montréal (Québec), Canada, H3C 3P8

Email : sebastien_monette@hotmail.com

Marc Bigras, Ph.D., Full Professor

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

Marie-Claude Guay, Ph.D., Professor

Department of psychology, University of Quebec in Montreal (UQAM)

This paper is presented as partial requirement of the Psy.D.-Ph.D. in psychology, Université du Québec à Montréal (UQAM). We would like to thank the three anonymous reviewers having contributed to this paper. The authors would also like to thank the families and research assistants who participated in this study. All correspondence concerning this paper must be addressed to the first author by e-mail: sebastien_monette@hotmail.com

This research was supported by the Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC) of Canada (grant number: 410-2006-2496).

We declare that this manuscript has not been published elsewhere and has not been submitted simultaneously for publication elsewhere.

Soumis au Journal of Child Psychology and Psychiatry (soumis le 10 octobre 2011)

Title:

Executive Functions in Kindergarteners with High Levels of Disruptive Behaviours

Short title:

Executive functions and disruptive behaviours

Authors:

Sébastien Monette, Department of Psychology, UQAM (Université du Québec à Montréal)

Marc Bigras, Department of Psychology, UQAM (Université du Québec à Montréal)

Marie-Claude Guay, Department of Psychology, UQAM (Université du Québec à Montréal)

3.1 Abstract

Background: Studies have shown children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD) to present weaknesses in executive functions (EF). EF deficits have yet to be demonstrated convincingly in children with disruptive behaviours, as only a few studies have reported these and then mostly at the level of inhibition. Against this background, the link between EF and disruptive behaviours in young children with or without ADHD was investigated. **Method:** Three groups of kindergarteners were compared in terms of EF scores derived from factor analysis: 1) a group combining high levels of disruptive behaviours and ADHD symptoms (COMB; $n = 17$); 2) a group presenting high levels of disruptive behaviours only (AGG; $n = 17$); and 3) a normative group (NOR; $n = 85$). **Results:** Children in the COMB and AGG groups presented weaker inhibition capacities compared with normative peers. Also, only the COMB group showed weaker working memory capacities compared with the NOR group. Additional analysis indicated only symptoms of inattention to be specifically linked to the working memory component of EF, even after other EF and externalizing behaviours were controlled. **Conclusion:** Results support the idea that children with ADHD have a more general EF deficit and that weaker inhibition capacities are probably common to both ADHD and disruptive behaviours. **Key words:** executive functions, inhibition, flexibility, working memory, ADHD, inattention, hyperactivity, disruptive behaviours

3.2 Introduction

The executive functions (EF) can be defined as a set of hypothetical mental processes that allow consciously controlling thought and action in order to orient behaviour towards a future goal (Jurado & Rosselli, 2007). Numerous researchers consider working memory, cognitive flexibility and inhibition to be the principal components of EF (Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000), though other components are also mentioned at times (e.g., planning, fluency, task initiation, divided attention). EF deficits have been regularly reported in children with attention deficit/hyperactivity disorder (ADHD), conduct disorder (CD) and oppositional-defiant disorder (ODD). For the purposes of our study, we refer to these two last disorders (CD and ODD) as *disruptive behaviour disorders*.

3.2.1 EF and ADHD

The presence of an EF deficit in children with ADHD has been well documented. In their meta-analysis, Martinussen, Hayden, Hogg-Johnson, and Tannock (2005) showed that children with ADHD presented impaired working memory. In an even vaster meta-analytical review (83 studies), Willcutt, Doyle, Nigg, Faraone, and Pennington (2005) demonstrated that children with ADHD performed less well than normative children on the 13 EF tasks selected (moderate global effect size) and that they seemed to perform particularly poorly regarding inhibition, vigilance, spatial working memory and planning capacities.

The link between EF and ADHD in preschoolers (3 to 6 years old) has attracted the attention of researchers only recently. The meta-analysis by Pauli-Pott and Becker (2011) revealed that children at risk for ADHD presented impaired capacities in terms of inhibition (motor inhibition and interference control), delay aversion and vigilance (moderate to large effect size), and working memory (weak effect size). The authors mentioned also that the vigilance and interference control impairments in children at risk for ADHD seemed to grow worse with age.

In short, regarding the relationship between EF and ADHD, it seems to be established that children with ADHD generally present weaker EF skills than children from normative samples, especially in terms of inhibition, vigilance, spatial working memory and planning capacities. This seems to apply to both school- and preschool-age children, although in their meta-analysis, Pauli-Pott and Becker (2011) suggested that problems with delay aversion were more dominant at first but that, with age, inhibitory control and vigilance problems came to the fore.

3.2.2 EF and disruptive behaviour disorders

Research interest in EF in individuals with disruptive behaviour disorders predates by far interest in the EF-ADHD link, but the issue of the relationship between EF and disruptive behaviour disorders remains controversial. Moffit (1993) reviewed 47 studies of the neuropsychological profile of juvenile delinquents from the period spanning 1965 to 1992 and concluded that these young people presented neuropsychological deficits in terms of EF and language skills. In another literature review, Pennington and Ozonoff (1996) showed that for ADHD, the most predictive EF tests were the Tower of Hanoi, motor inhibition tests and the Matching Familiar Figure Test (MFFT), which all rest heavily on the component of inhibitory control. The authors indicated also that while research did evidence EF deficits in children with CD, it did so only when presence of concurrent ADHD was not controlled. They also asserted that an EF deficit in children with CD (without ADHD) had yet to be proved. Oosterlaan, Logan, and Sergeant (1998), for their part, carried out a meta-analysis demonstrating that presence of ADHD was strongly associated with weak performance on motor inhibition tests and that ADHD children did not perform differently on these from children with CD or with a comorbid condition (ADHD + CD). Morgan and Lilienfeld (2000) found in their meta-analysis that antisocial groups in general scored on average 0.62 of a standard deviation below normative groups on EF tests. Finally, in their literature review, Sergeant, Geurts, and Oosterlaan (2002) confirmed that an inhibition control deficit (interference control and motor inhibition) was present both in children with ADHD and in children with disruptive behaviour disorder and that, consequently, such impairment was not specific to ADHD. Their review indicated also that neither ADHD children nor CD-ODD children presented cognitive flexibility impairment.

Studies undertaken since then have sought to address the limitations noted in previous research, principally by controlling for disruptive behaviour disorders and ADHD comorbidity. Certain studies thus showed that children with disruptive behaviour disorders without ADHD exhibited no problems in terms of EF (Hummer et al., 2010; Oosterlaan, Scheres, & Sergeant, 2005). However, other researchers did observe such problems (Herba, Tranah, Rubia, & Yule, 2006; Séguin, Boulerice, Tremblay, & Pihl, 1999; Toupin, Déry, Pauzé, Mercier, & Fortin, 2000). In these cases, the EF component most often found to be impaired in children with disruptive behaviour disorders was inhibition (Herba et al., 2006; Toupin et al., 2000).

A first wave of research has observed an association between EF and disruptive behaviour disorders in preschool-age children as well (Blair, Granger, & Razza, 2005; Brophy, Taylor, & Hughes, 2002; Floyd & Kirby, 2001; Livesey, Keen, Rouse, & White, 2006). Here, too, inhibition was the component most often associated with conduct problems in the young children. However, very few studies, if any at all, have examined other components of EF.

A second wave of research has been seeking to verify whether this link persists in school-age children when comorbid ADHD (or ADHD symptoms) is taken into account. Some researchers have found children with disruptive behaviour disorders to present EF deficits even when ADHD (or ADHD symptoms) was controlled, primarily in the area of inhibition (Raaijmakers et al., 2008). Other researchers, however, have observed no such relationship (Berlin & Bohlin, 2002; Brocki, Nyberg, Thorell, & Bohlin, 2007; Kalff et al., 2002; Thorell & Wåhlstedt, 2006).

Despite numerous studies and literature reviews, the relationship between EF and disruptive behaviour disorders remains an open issue. A certain number of studies have observed a link between EF, especially inhibition, and presence of disruptive behaviours when the effect of ADHD was neutralized, but these findings have been too seldom replicated to be irrefutable and, in any event, they have been contradicted by other studies. In preschool children, this field of research is still at a very early stage. Against this

background, we set out to compare the EF profile of kindergarteners with high levels of disruptive behaviours, with or without ADHD, against a group of normative children.

3.3 Method

3.3.1 Participants

Participants were drawn from a broader longitudinal study of the effects of an intervention program targeting externalizing behaviours (ADHD, ODD and CD) in kindergarteners. The normative group (Group 1: NOR) consisted of 85 children (39 boys, 46 girls) attending kindergarten in the suburban region of Sherbrooke or the urban region of Montreal (Quebec, Canada). The children were recruited in 24 regular classes across 15 schools.

The two clinical groups ($n=17$, each) were drawn from a larger sample of children ($n = 71$) presenting high levels of externalizing behaviours. This "at-risk" sample was itself drawn from a larger normative sample ($N = 475$). Children in this baseline sample were recruited in 49 regular classes across 39 schools. Children in the at-risk sample were selected from among the children of the baseline sample by means of the Fluppy questionnaire. The Fluppy questionnaire included 18 items on 1) oppositional defiant disorder and conduct disorder (5 items), 2) attention deficit disorder / hyperactivity (6 items), 3) direct aggression (4 items) and 4) indirect aggression (3 items). For each item, the response format offered three choices to respondents: (0) "never or not true" (1) "sometimes or somewhat true" and (2) "often or very true". The total score for this instrument ranged from 0 to 36. Children whose total score ranged beyond the 65th percentile according to both the teacher and the parent were selected to be part of the at risk sample. About 15% of all children in the sample were consistent with this criterion ($n = 71$). This at risk sample ($n = 71$) was then divided into two, according to a cutoff of 90th percentile on the attention problem scale of the ASEBA. Then, children were matched according to their score on the aggressive behavior scale of the ASEBA. Children that we could not match together were not included in the two clinical groups. The two final clinical groups were composed of 17 children each. The characteristics of the three groups

under study are presented in Table 1. The three groups did not differ on any sociodemographic variable.

3.3.2 Procedure

Kindergarten teachers were contacted and, if they expressed an interest in participating in the study, a letter was sent to the parents of the children in their groups to solicit their participation and obtain their informed consent. In the winter, questionnaires were sent to the teachers of the participating children. Then, the families of these children were visited at home by two research assistants. On this occasion, one research assistant helped the parents complete the questionnaires and the other assistant administered the various tests to the child in a separate room. Children received a small toy as a token of appreciation for their participation. For the clinical groups, the procedure was the same, except that the Fluppy screening questionnaire was first sent to the teacher in order to solicit only families with an at-risk child.

3.3.3 Measures

Backward word span. In this test, the researcher reads out sequences of 2, 3 and 4 monosyllabic words and the child repeats the sequence backward. The score reported corresponds to the number of correct sequences given (range of 0 to 12).

Backward block span. Blocks are mounted on a pedestal and the researcher points out a sequence. The child then has to reproduce the sequence in reverse. The score reported corresponds to the number of correct sequences given (range of 0 to 12).

Day-night test. A series of 24 cards is presented, one at a time. The child must say "night" when shown a card with a blue sky and a sun, and "day" when shown a card with a moon on a black background. Reported are the number of uncorrected errors and the number of self-corrected errors (range of 0 to 24 for each).

Fruit Stroop. In the interference condition, fruits (apples and bananas) are presented, some of which are not the right color. The child is instructed to state the color the fruits

would normally be "in real life". Reported are the number of fruit's color correctly named and the number of errors made in the interference condition.

Knock and tap. This two-step task was part of the first edition of the NEPSY battery (Korkman, Kirk, & Kemp, 1998). First, the child must knock with a closed fist on the table whenever the researcher taps on the table with the palm of the hand, and vice versa, for 15 items arranged in pseudorandom order. Second, the child must abide by a rule change and pound the table with the side of the hand whenever the researcher knocks on the table with a closed fist, and vice versa. If the researcher taps the table with the palm of the hand, then the child must stay still. Total scores for conditions 1 and 2 are reported (range of 0 to 30 for each).

Trails-P. Adapted from Espy and Cwik (2004), this task involves a family of mice. First, the child must draw a trail from the smallest to the biggest mouse. Then, in the second part of the test, the child must draw a trail from the smallest to the biggest mouse, connecting with each mouse's cheese (same colour as the mouse) before proceeding to the next mouse. The score reported is the number of intraclass errors at the third step, that is, the number of times the child tries to connect a mouse directly to another mouse or a piece of cheese to another (range of 0 to 2).

Card sort. In this task, the child must sort a series of cards by trying to guess which ones are the favourite of a teddy bear. He must do so after being habituated to a sorting rule (first color, then shape). A perseveration score is reported based on the number of colour responses in the second sort. A more detailed description of the EF tests is available in Monette, Bigras, and Guay (2011).

Achenbach System of Empirically Based Assessment - Teacher Report Form (ASEBA-TRF). The ASEBA-TRF (Achenbach & Rescorla, 2001) was completed only by the teachers of the children in the two clinical groups. The Achenbach scale consists of 113 items regarding a child's behaviour. The syndrome scale score was used. The attention problems and aggressive behaviour scores are reported as standard scores (T score).

Sociodemographic data. A standard sociodemographic questionnaire was filled out by the children's parent(s). Data concerning family structure, family income, parent's education, employment status, and ethnicity were collected through this instrument. Mother's education corresponded to the number of years of schooling completed and family income was reported on a Likert scale from 1 to 8 (i.e., \$0-\$10K, \$10-\$20K, \$20-\$30K, \$30-\$40K, \$40-\$50K, \$50-\$60K, \$60-\$80K and \$80K or more).

3.3.4 Data Reduction

The data were analyzed using SPSS 17.0. The scores yielded by the battery of EF tests were subjected to a factor analysis in an attempt to extract from them more refined and, therefore, more valid EF indicators. Certain scores were subjected to a transformation (square root or log10) to reduce skewness, a common problem in the evaluation of EF in young children. Out of 10 scores, 6 had to be transformed (day-night test uncorrected errors and self-corrected errors, trails-p switch errors, card-sort perseveration score, knock-and-tap conditions 1 and 2) in order to meet the criteria for normality and linearity necessary for subsequent analyses. Then some scores were inverted (multiplied by -1) so that all high scores would indicate competence in the test, in order to facilitate the interpretation of the factors. Components were determined based on a scree plot. Factors with eigenvalues greater than 1 were retained. The oblimin rotation method was used beforehand given that EF tend to correlate among themselves.

3.4 Results

3.4.1 Factor structure

Table 2 presents the oblimin-rotated factor loadings. Three factors emerged: variables known to be related to working memory (backward block span, backward word span), fruit Stroop total score, and day-night test uncorrected errors loaded on the first factor; the two flexibility tests (trails-P and card sort) loaded on the second factor; and, finally, the other scores related to inhibition (day-night test self-corrected errors, fruit Stroop errors, knock-and-tap conditions 1 and 2) and the card sort perseveration score loaded on the third factor. Composite scores were then created using the factor loadings.

We named factor 1 “working memory” (WM), factor 2 “flexibility” (FLEX) and factor 3 “inhibition” (INH). We maintained the oblimin rotation given that INH was significantly correlated to WM ($r = .35, p < .01$) and to a lesser extent to FLEX ($r = .19, p < .05$). The table of correlations across the EF test scores is available from the first author or as an online supplement.

3.4.2 Group comparisons

We next compared the three groups on the three EF factors (WM, INH, FLEX) using one-way ANOVAs. Table 3 gives the results of these analyses and Figure 1 illustrates the group means for the three factors. The one-way ANOVA regarding the dependent variable WM proved significant ($F(2, 116) = 6.14, p < .01$), as did the one-way ANOVA regarding the dependent variable INH ($F(2, 116) = 13.10, p < .01$). The three groups did not differ on the FLEX variable. The post hoc tests, in our case Scheffe’s tests, revealed a large significant difference between group 1 (COMB) and group 3 (NOR) on the WM variable (Cohen’s $d = 0.84$). Regarding the INH variable, group 3 (NOR) proved significantly different from both group 1 (COMB) and group 2 (AGR). These differences, too, could be considered large (Cohen’s $d = 0.93$ and 1.10 , respectively).

3.4.3 Correlation analysis

Finally, we decided to run an additional correlational analysis on the two clinical groups only. This analysis seemed justified in that the ASEBA inattention scale actually comprises two subscales, namely, the inattention subscale and the hyperactivity-impulsivity subscale. The fact that group 1 (COMB) presented a weakness in working memory did not tell us whether working memory was correlated to inattention, hyperactivity-impulsivity or both. The aim was to see whether the symptoms of inattention and of hyperactivity-impulsivity were correlated to WM with the same strength. The results of this analysis (Table 4) indicated that only the symptoms of inattention were associated with WM ($r = -.50, p < .01$) and that they were so even after statistically controlling the other EF factors and comorbidity, that is, the other ASEBA scales. Additional partial correlation between WM and inattention, controlling for group membership proved significant ($r = -.41, p < .01$), indicating that the correlation couldn’t be explained by a group effect.

3.5 Discussion

The main objective of our study was to investigate the EF profile of children presenting high levels of disruptive behaviours with or without symptoms of ADHD, by using a valid measure of the EF construct for preschool children. Our results indicate that kindergarteners with high levels of disruptive behaviours and ADHD symptoms (group 1: COMB) have weaker inhibition and working memory capacities compared with normative peers (group 3: NOR). Kindergarteners with high levels of disruptive behaviours only (group 2: AGG) demonstrate weaker inhibition capacities compared with normative children. In children with disruptive behaviour problems (COMB and AGG groups), only symptoms of inattention are associated with working memory. Following these results, various interpretative hypotheses are worth discussing.

To our eyes, the hypothesis of a common inhibition deficit is the most plausible interpretation of our results. Indeed, as had already been observed in school-age children, ADHD and disruptive behaviours are both associated with weaker inhibition capacities also in preschool children. This hypothesis is consistent with the literature reviews of Sergeant et al. (2002) and Oosterlaan et al. (1998), which showed that inhibition capacities (interference control and motor inhibition) are impaired in both children with ADHD and those with disruptive behaviours.

More specifically with respect to preschool children, Raaijmakers et al. (2008) obtained results similar to ours. However, other studies of preschool children found no EF deficits in children with disruptive behaviours (Berlin & Bohlin, 2002; Brocki et al., 2007; Kalff et al., 2002; Thorell & Wåhlstedt, 2006). These results might be explained by the make-up of the clinical groups in these studies, though. In our study and the one by Raaijmakers et al. (2008), the groups of children with disruptive behaviours were defined as a function of their score on the ASEBA aggressive behaviour scale, unlike other studies where the groups of children with disruptive behaviours were defined on the basis of an ODD diagnosis. The ASEBA aggressive behaviour scale covers several symptoms of ODD but also various symptoms of CD, particularly symptoms of aggression and destruction (e.g., destroys his/her own things, destroys property belonging to others, gets in many fights, physically attacks people, etc.). Consequently, the children with disruptive

behaviours selected by our team and by Raaijmakers et al. (2008) might have been children with a more severe psychopathology.

It is also possible that the inhibition deficit is specific to disruptive behaviours. However, our study did not comprise a group with high levels of ADHD symptoms only, which would have permitted us to confirm or nullify this hypothesis. In any event, the results of the various literature reviews mentioned in the introduction do not support such a hypothesis, as impaired inhibition capacities have been reported time and again in children with ADHD.

Some researchers have asserted that comorbid disruptive behaviour disorder and ADHD constitute a qualitatively distinct psychopathology rather than the mere accumulation of two pure conditions (Banaschewski et al., 2003). These researchers demonstrated that children with such a comorbid condition were in fact less impaired in terms of EF and neurophysiological functioning than were individuals with ADHD only or with a disruptive behaviour disorder only. Our results do not seem to lend credence to this idea, given that the comorbid group in our study was the group that presented the most EF deficits. Instead, our results seem to support, at least in part given the absence of a group with ADHD only, the idea that the comorbid condition (disruptive behaviour disorder + ADHD) actually reflects the co-occurrence of two distinct problems.

These results do not concur, however, with the meta-analysis by Pauli-Pott and Becker (2011), which showed working memory to be the EF component least associated with presence of ADHD in preschool children. We believe that this can be explained by the fact that most tasks measuring the working memory component in the studies reviewed by Pauli-Pott and Becker were in fact tasks of short-term memory or memory span (*passive storage*) rather than what are generally understood to be tasks of working memory, that is, those that involve storing and updating/manipulating information (*active storage*). In this regard, Martinussen et al. (2005) demonstrated that working memory was significantly more affected in children with ADHD than was short-term memory or memory span.

As for flexibility capacities, our results are in line with the majority of previous studies conducted with school-age children (Sergeant et al., 2002) that indicated that

children with ADHD or a disruptive behaviour disorder did not present a cognitive flexibility deficit, at least not when this was gauged by perseveration errors. Pauli-Pott and Becker (2011) found only three studies that compared the flexibility capacities of preschoolers with ADHD against those of normative children. Like us, two of these studies reported no flexibility deficit in ADHD children.

We also showed that for the children in the two clinical groups, working memory was correlated specifically to symptoms of inattention. These results were congruent with the meta-analysis carried out on school-age children by Willcut et al. (2005), who proposed that a general EF deficit was more specific to symptoms of inattention than to symptoms of hyperactivity-impulsivity.

Hence, our study supports the idea of a common working memory deficit, more specifically regarding interference control, in children with ADHD or disruptive behaviours and the idea of a more general EF deficit (inhibition + working memory) in children with ADHD.

Interference control tests make demands on various regions of the brain, including the anterior cingulate cortex (BA 32), the dorsolateral prefrontal cortex (BA 9, 46), the inferior prefrontal cortex (BA 44, 45, 47), the posterior parietal cortex and the anterior insula (Nee, Wager, & Jonides, 2007). Brain lesion studies, for their part, have shown that the right inferior frontal cortex plays an essential role in the successful execution of interference control tasks (Aron, Robbins, & Poldrack, 2004).

In an impressive review of the neuro-imaging literature, Rubia (2011) demonstrated that ADHD and CD were disorders implicating distinct neurophysiological dysfunctions, with ADHD associated with a dysfunction of the inferior fronto-striatal-cerebellar and parietotemporal regions regulating attention and cognition, and CD associated instead with a dysfunction of the paralimbic system including the orbitofrontal cortex, the superior temporal lobes, and underlying limbic structures, as well as a frontolimbic ventromedial abnormality. Rubia (2011) mentioned, however, that some dysfunctions could be common to both disorders, including those of the limbic-ventromedial region, the mesolimbic

pathway and the anterior cingulate cortex. An inhibition deficit common to ADHD and disruptive behaviour disorders could thus reflect such a common brain dysfunction.

The strengths of this study lie primarily in the effort made to measure EF in a detailed, thorough and valid manner. However, the study is not without its limits, uppermost among these being the small size of the sample. The interpretation of the results is limited also by the absence of a group of children presenting only high levels of ADHD symptoms without disruptive behaviours. We must also mention that even in our group of children with high levels of disruptive behaviours (group 2: AGG), a low level of ADHD symptoms was nevertheless present.

Future research should seek to avoid these limitations and also to integrate elements pointed out by other researchers. The distinction between proactive and reactive aggression, for example, is perhaps more relevant than the distinction between CD and ODD. Indeed, some researchers have shown the link between EF and aggressive behaviours to be significant only in the case of reactive aggression (Giancola, Moss, Martin, Kirisci, & Tarter, 1996) or in children with a hostile attribution bias (Ellis, Weiss, & Lochman, 2009). Similarly, the inclusion of a measure of callous-unemotional traits, which have often been found to be associated with proactive aggressive behaviours, could shed light on the development of severe aggressive behaviours.

Acknowledgments

This research was supported by the Social Sciences and Humanities Research Council (SSHRC) of Canada (grant no. 410-2006-2496). The authors would like to thank the families, teachers and research assistants who participated in this study.

Correspondance to

Sébastien Monette, Université du Québec à Montréal, Case postale 8888, succursale Centre-ville, Montréal (Qc) Canada, H3C 3P8. E-mail: sebastien_monette@hotmail.com

Key Points

- Children with ADHD generally exhibit weaker EF than do children from normative samples, especially in terms of inhibition, vigilance, spatial working memory and planning capacities.
- Though research has reported a link between EF, especially inhibition, and presence of disruptive behaviour, studies diverge on this point.
- The results of this study support the idea that young children with ADHD symptoms present a more general EF deficit and that a weakness in terms of inhibition capacities may be a deficit common to ADHD and disruptive disorders

3.6 References

- Achenbach, T. M., & Rescorla, L. A. (2001). *Manual for the ASEBA school-age forms & profiles*. Burlington: University of Vermont, Research Center for Children, Youth, & Families.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 170-177.
- Banaschewski, T., Brandeis, D., Heinrich, H., Albrecht, B., Brunner, E., & Rothenberger, A. (2003). Association of ADHD and conduct disorder – brain electrical evidence for the existence of a distinct subtype. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44, 356-376.
- Berlin, L., & Bohlin, G. (2002). Response inhibition, hyperactivity, and conduct problems among preschool children. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 31, 242-251.
- Blair, C., Granger, D., & Razza, P. (2005). Cortisol reactivity is positively related to executive function in preschool children attending Head Start. *Child Development*, 76, 554-567.
- Brocki, K. C., Nyberg, L., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2007). Early concurrent and longitudinal symptoms of ADHD and ODD: Relations to different types of inhibitory control and working memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 1033-1041.
- Brophy, M., Taylor, E., & Hughes, C. (2002). To go or not to go: Inhibitory control in 'hard to manage' children. *Infant and Child Development*, 11, 125-140.
- Ellis, M., Weiss, B., & Lochman, J. (2009). Executive functions in children: Associations with aggressive behavior and appraisal processing. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 37, 945-956.

- Espy, K. A., & Cwik, M. F. (2004). The development of a trail making test in young children: The TRAILS-P. *The Clinical Neuropsychologist*, 18, 411-422.
- Floyd, R. G., & Kirby, E. A. (2001). Psychometric properties of measures of behavioral inhibition with preschool-age children: Implications for assessment of children at risk for ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 5, 79-91.
- Giancola, P. R., Moss, H. B., Martin, C. S., Kirisci, L., & Tarter, R. E. (1996). Executive cognitive functioning predicts reactive aggression in boys at high risk for substance abuse: A prospective study. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 20, 740-744.
- Herba, C. M., Tranah, T., Rubia, K., & Yule, W. (2006). Conduct problems in adolescence: Three domains of inhibition and effect of gender. *Developmental Neuropsychology*, 30, 659-695.
- Hummer, T., Kronenberger, W., Wang, Y., Dunn, D., Mosier, K., Kalnin, A., et al. (2010). Executive functioning characteristics associated with ADHD comorbidity in adolescents with disruptive behavior disorders. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 39, 1-9.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: A review of our current understanding. *Neuropsychological Review*, 17, 213-233.
- Kalff, A. C., Hendriksen, J. G. M., Kroes, M., Vles, J. S. H., Steyaert, J., Feron, F. J. M., et al. (2002). Neurocognitive performance of 5- and 6-year-old children who met criteria for attention deficit/hyperactivity disorder at 18 months follow-up: Results from a prospective population study. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30, 589-598.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (1998). *NEPSY: A developmental neuropsychological assessment*. San Antonio: The Psychological Corporation.

- Livesey, D., Keen, J., Rouse, J., & White, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6-year-old children. *Human Movement Science*, 25, 50-64.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 377-384.
- Moffit, T. E. (1993). The neuropsychology of conduct disorder. *Development and Psychopathology*, 5, 135-151.
- Monette, S., Bigras, M., & Guay, M.-C. (2011). The role of the executive functions in school achievement at the end of Grade 1. *Journal of Experimental Child Psychology*, 109, 158-173.
- Morgan, A. B., & Lilienfeld, S. O. (2000). A meta-analytic review of the relation between antisocial behaviour and neuropsychological measures of executive function. *Clinical Psychology Review*, 20, 113-136.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Nee, D., Wager, T., & Jonides, J. (2007). Interference resolution: Insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cognitive, Affective, and Behavioral Neuroscience*, 7, 1-17.
- Oosterlaan, J., Logan, G. D., & Sergeant, J. A. (1998). Response inhibition in AD/HD, CD, comorbid AD/HD+CD, anxious, and control children: A meta-analysis of studies with the stop task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 411-425.
- Oosterlaan, J., Scheres, A., & Sergeant, J. A. (2005). Which executive functioning deficits are associated with AD/HD, ODD/CD and comorbid AD/HD+ODD/CD? *Journal of Abnormal Child Psychology*, 33, 69-85.

- Pauli-Pott, U., & Becker, K. (2011). Neuropsychological basic deficits in preschoolers at risk for ADHD: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review, 31*, 626-637.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*, 51-87.
- Raaijmakers, M., Smidts, D., Sergeant, J., Maassen, G., Posthumus, J., van Engeland, H., et al. (2008). Executive functions in preschool children with aggressive behavior: Impairments in inhibitory control. *Journal of Abnormal Child Psychology, 36*, 1097-1107.
- Rubia, K. (2011). "Cool" inferior frontostriatal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder versus "hot" ventromedial orbitofrontal-limbic dysfunction in conduct disorder: A review. *Biological Psychiatry, 69*, 69-87.
- Séguin, J. R., Boulerice, B., Tremblay, R. E., & Pihl, R. O. (1999). Executive functions and physical aggression after controlling for attention deficit hyperactivity disorder, general memory, and IQ. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 40*, 1197-1208.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioural Brain Research, 130*, 3-28.
- Thorell, L. B., & Wåhlstedt, C. (2006). Executive functioning deficits in relation to symptoms of ADHD and/or ODD in preschool children. *Infant and Child Development, 15*, 503-518.
- Toupin, J., Déry, M., Pauzé, R., Mercier, H., & Fortin, L. (2000). Cognitive and familial contributions to conduct disorder in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 41*, 333-344.

- Willcutt, E. G., Doyle, A. E., Nigg, J. T., Faraone, S. V., & Pennington, B. F. (2005). Validity of the executive function theory of attention deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Biological Psychiatry*, 57, 1336-1346.

Table 1
Sample descriptive statistics (n=119)

<i>Variable</i>	Group 1 (COMB)		Group 2 (AGG)		Group 3 (NOR)	
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>
N=	17	-	17	-	85	-
Sex ratio (boys:girls)	11:6	-	9:8	-	39:46	-
Age (in months)	69.00	(3.06)	68.29	(4.32)	70.32	(4.13)
Maternal education	13.32	(3.21)	13.29	(3.31)	14.15	(3.16)
Family income	4.41	(2.79)	5.76	(2.25)	5.73	(2.14)
ASEBA TRF agg	67.41	(5.01)	67.41	(5.01)	na	na
ASEBA TRF adhd	68.35	(5.72)	58.12	(3.60)	na	na

Note. Maternal education, mother's education (in years); Family income, family income (Likert scale 1-8); ASEBA TRF agg, T score on the aggressive behavior scale of the ASEBA teacher report form; ASEBA TRF adhd, T score on the attention problems scale of the ASEBA teacher report form; na, not available.

Table 2

Factor analysis pattern matrix for executive functions tests (n=119)

<i>EF tests scores</i>	Factor loading		
	1 (WM)	2 (FLEX)	3 (INH)
Day-night test (uncorrected errors)	.81		
Backward word span	.80		
Fruit stroop (total)	.62		
Backward block span	.59		
Trails-P (switch errors)		.90	
Card sort (perseveration)		.51	
Knock and tap (step 1 score)			.83
Fruit stroop (errors)			.67
Knock and tap (step 2 score)			.65
Day-night test (self-corrected errors)			.46
Factor correlations			
Factor 1	--		
Factor 2	.15	--	
Factor 3	.35**	.19*	--

Note. Values < 0.40 were discarded.

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 3
Anovas and post hoc tests

<i>EF factors</i>	Group 1 (COMB)		Group 2 (AGG)		Group 3 (NOR)		Anovas	Post-Hoc
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>F</i>	<i>Scheffe</i>
Working memory factor	-0.73	(1.17)	-0.09	(0.77)	0.16	(0.95)	F(2, 116)=6.14**	1 < 3
Flexibility factor	0.01	(1.06)	-0.24	(0.93)	0.05	(1.00)	F(2, 116)=0.61	-
Inhibition factor	-0.61	(0.99)	-0.74	(0.95)	0.27	(0.89)	F(2, 116)=13.10**	1, 2 < 3

* $p < .05$, ** $p < .01$

Table 4

Correlational analysis between EF and ASEBA scales (subsample groups 1 and 2, n=34)

<i>EF factors</i>	Inattention	Hyperactivity-impulsivity	Aggressive behavior
Working memory factor	-.50 **	-.11	-.05
Flexibility factor	-.05	.11	-.10
Inhibition factor	.01	.10	.05

Notes. Inattention, raw score on the inattention subscale of the CBCL teacher report form; Hyperactivity-impulsivity, raw score on the hyperactivity-impulsivity subscale of the CBCL teacher report form; Aggressive behavior, T score on the aggressive behavior scale of the CBCL teacher report form. Bold faced coefficient indicate a significant coefficient after controlling for comorbidity (other ASEBA scales)

* $p < .05$. ** $p < .01$.

Supplemental table

Correlations among executive functions tests (n=119)

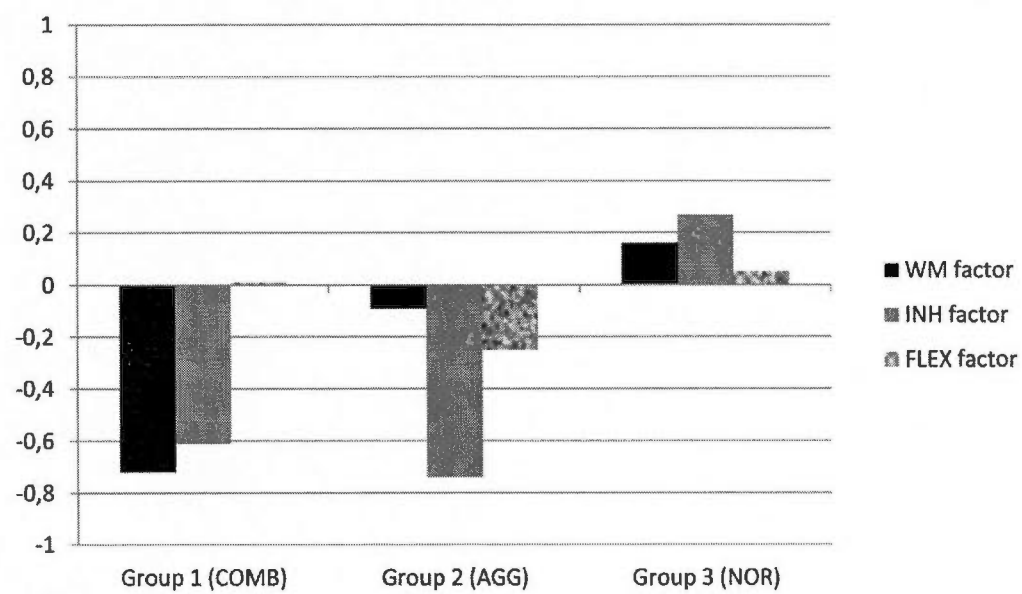
<i>Variable</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
1. Bword	—								
2. Bbloc	.52 **	—							
3. DNerr ^a	.36 **	.31 **	—						
4. DNscerr ^a	.11	.23 *	.15	—					
5. Fruittot	.50 **	.41 **	.37 **	.24 **	—				
6. Fruiterr	.19 *	.25 **	.06	.21 *	.33 **	—			
7. Knock1 ^a	.19 *	.25 **	.13	.22 *	.33 **	.32 **	—		
8. Knock2 ^a	.21 *	.38 **	.23 *	.19 *	.31 **	.25 **	.44 **	—	
9. Trails	.14	.20 *	-.02	.09	.11	.05	-.03	.01	—
10. Card sort ^a	.25 **	.32 **	.15	.14	.21 *	.19 *	.30 **	.23 *	.23 *

* $p < .05$. ** $p < .01$.

Notes. Bword, backward word span; Bbloc, backward bloc span; DNerr, day-night test errors; DNscerr, day-night test self-corrected errors; Fruittot, fruit Stroop total; Fruiterr, fruit Stroop errors; Knock1, knock and tap condition 1; Knock2, knock and tap condition 2; Trails: trails-p switch errors; Card sort, card sort perseveration score.

^a Variables transformed using a LOG procedure to meet normality requirement.

Figure 1
Group means for the EF factors



CHAPITRE IV
DISCUSSION GÉNÉRALE

DISCUSSION GÉNÉRALE

Ce chapitre consiste en une discussion générale au sujet des résultats obtenus dans les deux articles empiriques de la thèse. Quatre parties distinctes composent le présent chapitre. La première partie offre une synthèse des résultats obtenus. La seconde partie est une discussion plus large portant sur les résultats obtenus concernant l'implication des FE dans le rendement scolaire et le profil de FE des enfants ayant des comportements perturbateurs avec ou sans symptômes de TDAH. La troisième partie expose des implications théoriques et cliniques des résultats de l'étude. Finalement, la dernière partie porte sur certaines considérations méthodologiques en soulignant les forces et les limites de notre recherche ainsi que les pistes de recherches futures.

4.1 Synthèse des résultats des deux articles de thèse

Le premier objectif de cette thèse était de vérifier l'implication des FE dans la prédiction du rendement scolaire en mathématiques et en lecture-écriture à la fin de la 1^{ère} année du primaire, de tester si cette relation était indépendante des prédicteurs connus de la réussite scolaire et finalement de tester l'hypothèse selon laquelle le fonctionnement socioaffectif de l'enfant pouvait agir comme variable médiatrice dans la relation entre les FE et le rendement scolaire. Le deuxième objectif était d'investiguer le profil de FE chez les enfants présentant un niveau élevé de comportements perturbateurs avec ou sans symptômes de TDAH. Finalement, la méthode d'évaluation des FE utilisée, l'analyse factorielle, nous a aussi permis d'examiner la structure des FE chez les enfants de maternelle, point que nous aborderons plus en détail dans les prochaines sections.

Les résultats des deux analyses factorielles nous indiquent qu'il est effectivement possible de réduire le rendement aux différents tests de FE utilisés à trois facteurs, que nous avons nommés mémoire de travail (MT), inhibition (INH) et flexibilité (FLEX). Certains de ces facteurs étaient aussi corrélés entre eux, ce qui est cohérent avec l'idée que les composantes des FE sont distinctes quoique corrélées entre elles.

Les résultats du premier chapitre indiquent que certaines composantes des FE mesurées à la maternelle permettent de prédire le rendement scolaire en première année du primaire. Plus spécifiquement, la MT était corrélée modérément avec le rendement en mathématiques et en lecture-écriture, l'inhibition était corrélée faiblement au rendement en lecture-écriture et la flexibilité n'était pas corrélée au rendement scolaire. Les analyses de médiations subséquentes avec diverses covariables (sexe, âge et connaissances préscolaires de l'enfant et niveau d'éducation et revenu de la mère) ont montré que seulement la mémoire de travail avait un effet direct, et ce, uniquement sur le rendement en mathématiques. Pour le rendement en lecture-écriture, seulement un effet indirect de la MT et de l'inhibition fut observé, par le niveau de colère-agression, que certains associent à la notion de troubles externalisés.

Les résultats du deuxième chapitre indiquent que les enfants du groupe 1, qui présentent des comportements perturbateurs et des symptômes de TDAH, montrent une faiblesse au plan de la mémoire de travail et de l'inhibition lorsque comparé aux enfants du groupe 3, composé d'enfants tout-venants. Les enfants du groupe 2, qui présentent des comportements perturbateurs seulement, montrent pour leur part une faiblesse uniquement au plan de l'inhibition lorsque comparés au groupe 3. Des analyses supplémentaires ont indiqué que les comportements d'inattention sont plus particulièrement corrélés au déficit de mémoire de travail.

4.2 Interprétation des résultats présentés dans les deux articles

4.2.1 Un modèle à trois facteurs

Les résultats des deux analyses factorielles sont très semblables, puisque la deuxième analyse factorielle fut effectuée sur des données provenant partiellement du même échantillon que la première. À deux exceptions près, les scores aux tests de FE ont saturé les facteurs tels qu'attendus théoriquement. Ainsi, le score total à l'empan de mots à rebours et le score total à l'empan de blocs à rebours ont saturé le même facteur que nous avons nommé « mémoire de travail ». Ensuite, le nombre d'erreurs intra-classe au test de traçage de pistes et le score de persévération au tri de cartes ont saturé un deuxième facteur nommé « flexibilité ». Finalement, les deux scores du test cogner-frapper, les erreurs au stroop des fruits et les erreurs auto-corrigées au test jour-nuit ont saturé le troisième facteur nommé « inhibition ».

Cependant, contrairement à nos attentes, le nombre d'erreurs non-corrigées au test jour-nuit et le nombre de réponses correctes au stroop des fruits ont saturé le premier facteur (mémoire de travail) plutôt que le facteur inhibition. Pour expliquer ce résultat inattendu, nous avançons que l'association du nombre d'erreurs non-corrigées au test jour-nuit à la MT pourrait être due à un phénomène de perte d'objectif. Nous croyons que plusieurs enfants ayant un nombre élevé d'erreurs non-corrigées au test jour-nuit ont en fait oublié la consigne, ce qui constitue une perte d'objectif. En effet, contrairement au stroop des fruits, dans lequel l'évaluateur indique sur le champ à l'enfant lorsqu'il commet une erreur et l'oblige à se corriger, dans le test jour-nuit, l'enfant n'obtient pas de rétroaction de l'évaluateur et peut ainsi commettre grand nombre d'erreurs non-corrigées. Notre propre expérience en tant qu'évaluateur et nos discussions avec les assistants de recherche nous laissent croire que lorsque des erreurs se produisent dans ce contexte, il s'agit habituellement d'une série d'erreurs non-corrigées qui se poursuit jusqu'à la fin du test. Nous avons

d'ailleurs modifié l'administration de ce sous-test pour la prochaine version de la batterie d'évaluation des fonctions exécutives chez les enfants d'âge préscolaire (BÉFEX-P), de manière à la rendre semblable au Stroop des fruits.

Le fait que le nombre de réponses correctes au Stroop des fruits soit associé au facteur MT est plus difficile à expliquer. Il est possible que ce score soit plus en lien avec la vitesse de traitement de l'information ou des habiletés de langage tel que l'accès lexical, ce qui pourrait expliquer cette association Stroop des fruits-MT. Par ailleurs, le score d'erreurs à ce sous-test sature le facteur inhibition, ce qui est un indicateur que le score d'erreurs est possiblement un meilleur indicateur des capacités d'inhibition que le temps de réponse.

Ces résultats appuient l'idée qu'il est possible de distinguer empiriquement trois FE, soit la mémoire de travail, la flexibilité et l'inhibition chez les enfants de cinq ans, ce qui est cohérent avec certaines études effectuées auprès d'enfants de cet âge (Hugues, 1998; Espy et al., 2004). Il faut noter que les deux études ayant trouvé une structure des FE à un seul facteur chez les enfants d'âge préscolaire (Wiebe et al., 2008, 2010) ont été menées auprès d'enfants plus jeunes (moyenne d'âge 3 :11 ans et 3 ans, respectivement). Il est possible que chez les enfants de 3-4 ans, les FE ne soient pas encore dissociables. Nous avons aussi noté que dans ces deux études, la majorité des épreuves utilisées sont des épreuves d'inhibition, avec une ou deux épreuves de mémoire de travail et aucune épreuve de flexibilité. Étant donné que la MT et l'inhibition semblent les deux composantes les plus difficiles à dissocier (Mäntylä, Carelli, & Forman, 2007; Hull, Martin, Beier, Lane, & Hamilton, 2008), ce choix d'épreuves pourrait avoir rendu difficile la distinction des composantes des FE. Ce lien plus étroit MT-inhibition se retrouve aussi dans nos résultats, puisque la plus forte corrélation entre les facteurs des FE s'observe entre le facteur de MT et le facteur d'inhibition ($r = 0.32$ et 0.35 dans le premier et le deuxième article, respectivement).

4.2.2 FE et rendement en mathématiques

Les analyses de médiations multiples ont montré que parmi les trois composantes des FE mesurées en maternelle, seulement la MT permettait de prédire de façon unique le rendement en mathématiques en fin de première année et aucun effet de médiation ne fut observé. En fait parmi toutes les variables indépendantes et médiatrices (FE, connaissances préscolaires, variables affectives, variables familiales) la MT s'est révélée être la variable la plus significativement associée au rendement en mathématiques. Ces résultats sont cohérents avec ceux des études mentionnées dans l'introduction, qui indiquent que les FE semblent jouer un rôle plus important, voire plus direct, pour le rendement en mathématiques en début de scolarisation que pour le rendement en lecture-écriture. Cependant, la plupart des études menées auprès de jeunes enfants (Espy et al, 2004; Blair & Razza, 2007; McClelland et al, 2007; Brock et al, 2009) ont trouvé une relation plus étroite entre l'inhibition et les mathématiques, alors que nous et certains autres auteurs (Bull et al, 2008; Passolunghi et al, 2008) avons observé un lien plus étroit entre la MT et les mathématiques. Deux explications nous semblent possibles pour comprendre cette divergence. Tout d'abord, parmi les études qui ont observée un lien plus étroit entre l'inhibition et les mathématiques, l'étude d'Espy et al. (2004) est la seule à avoir mesuré la MT. Par conséquent, il n'était pas possible pour les autres études de comparer la force d'association de la MT et de l'inhibition avec le rendement en mathématiques. Deuxièmement, sauf pour une étude (Espy et al., 2004), ces études ont utilisé les scores bruts de tests des FE comme variables indépendantes au lieu d'utiliser un score composite ou un score dérivé de l'analyse factorielle. Il se pourrait bien alors que de la variance attribuable à des processus cognitifs non-exécutifs puisse avoir influencé la relation entre les FE et le rendement scolaire.

Nous croyons que la relation directe entre la MT et le rendement en mathématiques peut s'expliquer par la nature des épreuves de mathématiques que les enfants ont eu à effectuer. Ces épreuves demandaient principalement à l'enfant de résoudre des équations sur papier (par ex., $8 + 5 = ?$, dans le sous-test Opérations numériques du WIAT-II) et de résoudre des problèmes mathématiques présentés oralement et/ou visuellement par l'évaluateur (par ex., une illustration de sept canards sur un étang est présentée on demande à l'enfant: «Combien de canards y aurait-il si deux s'envolent? », dans le sous-test Raisonnement mathématique du WIAT-II). Comme l'addition et la soustraction de nombres simples ne sont pas encore automatiques à cet âge, c'est-à-dire le résultat d'un simple rappel en mémoire à long terme, il est probable que ces opérations imposent de fortes exigences sur les FE, en particulier sur la MT. Rasmussen et Bisanz (2005) ont d'ailleurs montré que les jeunes enfants traitent les problèmes mathématiques en utilisant un « modèle mental », c'est-à-dire un ensemble de représentations visuospatiales, plutôt que de les traiter sous forme de langage symbolique ou en effectuant un rappel d'information emmagasiné en mémoire à long terme. L'enfant doit donc se faire une représentation mentale visuospatiale du problème présenté oralement ou par écrit, retenir les éléments du problème et effectuer des transformations sur ces représentations mentales. On peut alors comprendre que la MT joue un rôle direct dans le rendement en mathématiques à cet âge, probablement encore plus lorsqu'il s'agit de calcul mental ou de calcul sans support visuel analogue (par ex., le sous-test Opérations numériques du WIAT-II) comparativement à des calculs avec support visuel analogue (par ex., le sous-test Raisonnement mathématique du WIAT-II). À cet égard, des études en neuroimagerie ont montré que les aptitudes au calcul mental sont associées aux régions préfrontales et que cela était d'autant plus vrai chez les enfants lorsque comparé aux adultes (Kucian, von Aster, Loenneker, Dietrich, & Martin, 2008). En grandissant, les enfants utilisent de plus les régions cérébrales associées plus spécifiquement au traitement des nombres (régions pariétales) et de moins en moins les régions préfrontales, associées aux FE.

4.2.3 FE et rendement en lecture-écriture

Dans le cas du rendement en lecture-écriture, les résultats se sont avérés différents. En effet, les analyses de médiations multiples ont indiqué qu'aucune des composantes des FE mesurées en maternelle ne permettaient de prédire le rendement en lecture-écriture en fin de première année de façon unique. Parmi les variables examinées, ce sont plutôt les connaissances préscolaires (par ex., reconnaissance des chiffres et des lettres), telles que mesurées avec le Lollipop, et le niveau de colère-agression, tel que mesuré par le PSA, qui ont été les deux variables les plus importantes dans la prédiction du rendement en lecture-écriture. Toutefois, la MT et l'inhibition se sont trouvées à avoir des effets indirects sur la lecture-écriture en passant par le niveau de colère-agression. Le niveau de colère-agression des enfants a eu un effet de médiation complet sur la relation entre l'ensemble des FE et le rendement en lecture-écriture.

Nous croyons que l'absence d'effet direct des FE et la présence d'une relation significative entre les connaissances préscolaires et le rendement en lecture-écriture peuvent aussi s'expliquer en regardant de plus près les épreuves de lecture-écriture que les enfants avaient à réaliser dans notre étude. Ces épreuves demandaient à l'enfant : 1) la lecture de mots isolés (par ex., le mot «rouge» est écrit et l'enfant doit encercler sa réponse parmi un choix de réponses visuelles : un crayon vert, un jaune et un rouge) (sous-tests Compréhension de lecture du WIAT-II) et 2) l'écriture des mots individuels, desquels seulement certaines correspondances phonèmes-graphèmes de base étaient considérées (sous-test Épellation du WIAT-II). Ce genre de tâche est très différent des tâches de lecture-écriture que les enfants doivent compléter vers la fin de l'école primaire, ces dernières requérant possiblement un plus grand apport des FE. À cet égard, Fitzgerald et Shanahan (2000) ont proposé un modèle développemental des processus cognitifs partagés par la lecture et l'écriture.

Ce modèle propose six stades de développement et souligne le rôle de différentes connaissances et processus cognitifs à chaque stade de développement. Par exemple, le modèle postule que les processus partagés critiques au stade de développement des enfants de l'étude (6-7 ans: stade 2) sont : la conscience phonologique et la conscience des graphèmes. Cependant, plus l'enfant progresse dans sa scolarité, plus la tâche se complexifie, il doit lire des phrases complètes et des textes entiers et non pas seulement des mots simples et isolés. Ainsi Au stade 3 du modèle (8-12 ans), d'autres compétences deviennent essentielles aux habilités de lecture-écriture: la connaissance de la morphologie, de la syntaxe et de l'organisation du texte. La lecture de phrases, de paragraphes et de textes exige plus qu'un simple décodage et la reconnaissance globale des mots. L'enfant doit maintenir les mots constituant une phrase en mémoire de travail, ainsi que les idées des phrases précédentes, afin de donner un sens au texte. En écriture, la même progression s'observe, alors que l'enfant doit d'abord écrire des mots individuels, il doit ensuite écrire des phrases complètes, puis des textes structurés. La rédaction d'un texte nécessite sans doute des capacités de MT afin de planifier l'ordre des mots, des phrases et paragraphes afin de corriger ses erreurs à la volée. Ceci est probablement moins le cas pour une simple tâche de transcription phonème-graphème, tel qu'utilisé dans notre étude, qui semble reposer davantage sur la récupération des données en mémoire à long terme. Comme les FE ne permettent pas d'expliquer de variance unique au rendement en lecture-écriture dans notre étude, il est possible que les habiletés requises à ce stade précoce de lecture-écriture deviennent rapidement automatisées, requérant ainsi peu d'implication des FE. Des études neuroimagerie ont d'ailleurs montré que la lecture par décodage (correspondance graphème-phonème) repose principalement sur les réseaux pariéto-temporaux (Shaywitz, Lyon, & Shaywitz, 2006), qui ne sont guère associés aux FE.

Bien qu'aucune relation directe n'ait été observée, l'inhibition et la MT se sont révélées des prédicteurs indirects significatifs du rendement en lecture-écriture à

travers une variable socio-affective: le niveau de colère-agression. Ces résultats suggèrent que les FE pourraient influencer la régulation des émotions comme la colère et les comportements d'agression et que cela pourrait en retour influencer l'apprentissage des contenus académiques en lecture et en écriture.

L'inhibition permet d'exercer un contrôle sur les réponses prépondérantes et la MT permet de retenir et manipuler de l'information mentalement. Un déficit de ces habiletés entraîne une impulsivité et une faible capacité à conserver et manipuler des informations mentalement. Il nous apparaît ainsi qu'un individu ayant une faiblesse au plan des FE se retrouve privé d'un appareillage cognitif fortement utile pour faire face à la colère et la réponse dominante qui lui est associée, soit l'agression. Un exemple possible de l'influence des FE sur l'agression est la comorbidité entre TDAH et TOP. En effet, les enfants ayant un TDAH sont très à risque de développer un TOP, environ 40% des enfants TDAH ont également un TOP, possiblement en raison de leur faiblesse au plan des FE.

Aussi, étant donné que les comportements d'agression se produisent souvent dans des contextes interpersonnels, les FE pourraient influencer les comportements agressifs indirectement en affectant les capacités de théorie de l'esprit. Plusieurs études indiquent d'ailleurs que les FE sont fortement associées aux habiletés de théorie de l'esprit (Moses, Carlson, & Sabbagh, 2005), qui consistent en la capacité de comprendre l'état mental ou psychologique d'une autre personne (Wellman, Cross, & Watson, 2001), concept qui chevauche aussi ceux de mentalisation et de fonction réflexive dans le courant psychodynamique. La MT et l'inhibition pourraient être l'appareillage cognitif sur lequel reposent des habiletés plus complexes de compréhension de l'état d'esprit de l'autre.

Ensuite, concernant l'influence des comportements agressifs sur la lecture-écriture, il est reconnu que les enfants ayant des comportements de types externalisés

ont souvent des difficultés avec l'apprentissage en lecture (Trzesniewski, Moffitt, Caspi, Taylor & Maughan, 2006). D'autres chercheurs ont également observé un lien plus étroit entre des variables socioaffectives et l'apprentissage de la lecture-écriture comparé aux mathématiques (Hooper, Roberts, Sideris, Burchinal, & Zeisel, 2010). Différentes hypothèses pourraient expliquer la spécificité de ce lien entre comportements externalisés et habiletés de langage écrit.

Tout d'abord, il se peut que les difficultés de lecture des enfants présentant des comportements agressifs soient reliées à un problème plus général au plan des habiletés langagières, ce qui est d'ailleurs documenté dans les écrits (Stevenson, 1996). Un niveau élevé de colère et de comportements agressifs pourrait entraver le développement des habiletés de langage en général. Inversement, on peut penser que les difficultés de langage d'un enfant peuvent avoir un effet négatif sur son adaptation sociale et ainsi entraîner des comportements agressifs, une interprétation qui a reçu un certain support empirique (Dionne, Tremblay, Boivin, Laplante, & Pérusse, 2003).

Il est aussi possible que les enfants présentant des comportements agressifs aient des difficultés plus importantes en lecture et en écriture en raison de leurs difficultés à se plier à des règles mises en place par les adultes. En effet, les troubles perturbateurs sont souvent associés à une défaillance au niveau de l'encadrement parental (par ex., discipline rude et/ou inconsistante, manque de règles et de limites, incapacité à prendre un rôle d'autorité du parent, etc.) (Campbell, 1995) et l'apprentissage de la lecture et de l'écriture, du moins dans les premières étapes, demande à l'enfant de se plier à plusieurs règles très arbitraires et à se placer dans une situation de dépendance envers l'adulte, et ce possiblement dans une plus grande mesure que dans le cas de l'apprentissage des mathématiques. Les difficultés de lecture et les comportements agressifs pourraient ainsi être tous deux influencés par une troisième variable tel l'encadrement parental. L'étude de Trzesniewski et collaborateurs (2006) menée auprès de plus d'un millier de paires de jumeaux,

soutient d'ailleurs l'idée que l'association entre les problèmes de lecture et les problèmes d'agressivité en bas âge est causée majoritairement (71%) par des facteurs environnementaux communs.

Dans un autre ordre d'idée, la lecture et l'écriture impliquent une dimension nettement plus sociale, du moins à des stades plus avancés de développement. Par exemple, pour revenir au modèle proposé par Fitzgerald et Shanahan (2000), les derniers stades (4, 5, 6) exigent des capacités telles que les méta-connaissances et la capacité de prendre une perspective autre que la sienne, soit des dimensions socioaffectives ou du moins de la cognition sociale. À cet égard, il est reconnu que les enfants ayant un handicap social majeur, comme l'autisme, ont de grandes difficultés avec ces aspects plus « sociaux » de la lecture et l'écriture (Randi, Newman & Grigorenko, 2010). Dans cette perspective, il est possible que d'autres problématiques socioaffectives moins graves, mais manifestant également des difficultés de cognition sociales, tel qu'un niveau de comportements agressif très élevé, puissent nuire à l'apprentissage de la lecture et de l'écriture.

4.2.4 FE et troubles externalisés

Les résultats du deuxième article indiquent que les enfants de maternelle présentant un niveau élevé de comportements perturbateurs et de symptômes de TDAH ont des capacités d'inhibition et de mémoire de travail plus faibles que leurs pairs d'un groupe d'enfants tout-venants. De plus, les enfants de maternelle présentant un niveau élevé de comportements perturbateurs, mais sans TDAH, ont aussi montré des capacités d'inhibition plus faibles. En regroupant ces sous-échantillons d'enfants avec au moins une problématique de comportement perturbateur, seulement les symptômes d'inattention se sont montrés associés à la mémoire de travail. Comme suite à ces résultats, différentes hypothèses interprétatives nous apparaissent matière à discussion.

L'hypothèse d'un déficit d'inhibition commun nous apparaît l'interprétation la plus plausible de nos résultats, c'est-à-dire que chez les enfants d'âge préscolaire, tout comme ce qui a été observé chez les enfants d'âge scolaire, le TDAH et les comportements perturbateurs sont tous les deux associés à de plus faibles capacités d'inhibition. Cette hypothèse est cohérente avec la recension de Sergeant et al. (2002) et celle de Oosterlan et al. (1998), montrant que les capacités d'inhibition sont déficitaires à la fois chez les enfants présentant un TDAH et aussi chez ceux ayant des comportements perturbateurs. Raaijmakers et al. (2008) ont obtenu des résultats semblables aux nôtres auprès d'un échantillon comparable. Cependant, d'autres études effectuées auprès d'enfants d'âge préscolaire n'ont pas trouvé de déficits des FE chez les enfants ayant des comportements perturbateurs (Berlin & Bohlin, 2002; Brocki et al., 2007; Kalff et al., 2002; Thorell & Wåhlstedt, 2006). Il est possible que ces résultats s'expliquent par la composition des groupes cliniques de ces études. Dans notre étude et celle de Raaijmakers et al. (2008), les groupes d'enfants ayant des comportements perturbateurs ont été définis selon leurs résultats à l'échelle « comportement agressif » de l'ASEBA, contrairement aux autres groupes de chercheurs qui ont constitué leurs échantillons selon un diagnostic de trouble oppositionnel avec provocation (TOP). L'échelle « comportement agressif » de l'ASEBA contient plusieurs symptômes du TOP, mais elle contient également plusieurs symptômes appartenant au trouble des conduites (TC), particulièrement les symptômes d'agression physique et de destruction d'objets (par ex., détruit les choses qui lui appartiennent, détruit les choses qui appartiennent aux autres, se bagarre souvent, agresse physiquement les gens). Il est alors possible que les enfants ayant des comportements perturbateurs sélectionnés par notre équipe et celle de Raaijmakers et al. (2008) soient des enfants qui présentent une symptomatologie plus sévère, le TC étant généralement considéré plus grave que le TOP.

Il est également possible que le déficit d'inhibition soit spécifique aux comportements perturbateurs, mais notre étude ne comportait pas de groupe ayant uniquement des symptômes élevés de TDAH, ce qui nous aurait permis de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse. Cependant, les résultats des différentes recensions des écrits évoquées en introduction ne supportent pas une telle hypothèse, puisqu'un déficit des capacités d'inhibition chez les enfants ayant un TDAH a été à mainte fois vérifié.

Certains chercheurs ont proposé que la condition de comorbidité entre un trouble perturbateur et un TDAH correspondrait à une psychopathologie qualitativement distincte, qui ne serait pas qu'une simple addition des deux conditions (Banaschewski et al., 2003). Ces chercheurs ont montré que les enfants ayant la condition comorbide sont en fait moins atteints, au plan des FE et du fonctionnement neurophysiologique, que les individus ayant un TDAH uniquement ou un trouble perturbateur uniquement. Nos résultats ne semblent pas appuyer cette idée, puisque le groupe comorbide de notre étude est le groupe qui montre le plus de déficits au plan des FE. Nos résultats semblent plutôt appuyer, partiellement étant donné l'absence d'un groupe ayant uniquement un niveau élevé de symptômes de TDAH, l'idée selon laquelle la condition comorbide (Agr+TDAH) résulte d'une addition des deux problématiques.

Nos résultats quant aux enfants ayant un haut niveau de symptômes de TDAH ne concordent cependant pas avec la méta-analyse de Pauli-Pott et Becker (2011) qui montrait que la mémoire de travail était la composante des FE la plus faiblement associée à la présence d'un TDAH chez les enfants d'âge préscolaire. Nous croyons que cela s'explique par le fait que la majorité des épreuves mesurant la composante « mémoire de travail » dans les études recensées par ces auteurs sont en fait des épreuves de mémoire à court terme ou d'empan (*passive storage*) plutôt que des épreuves de mémoire de travail comme on l'entend généralement, c'est-à-dire un

processus cognitif impliquant une mise à jour ou une manipulation de l'information (*active storage*). Martinussen et al. (2005) ont d'ailleurs montré que la mémoire de travail est significativement plus atteinte chez les enfants présentant un TDAH que la mémoire à court terme ou capacité d'empan.

Concernant les capacités de flexibilité, nos résultats vont dans le même sens que la majorité des études, habituellement menées auprès d'enfants d'âge scolaire (Sergeant et al., 2002), indiquant que les enfants ayant un TDAH ou un trouble perturbateur ne présentent pas de déficit de flexibilité cognitive, du moins lorsqu'opérationnalisé en tant qu'erreurs de persévération. Pauli-Pott et Becker (2011) ont recensé seulement trois études comparant les capacités de flexibilité d'enfants ayant un TDAH et d'enfants normatifs. Deux des trois études n'ont pas trouvé de déficit de flexibilité chez les TDAH.

Nous avons également montré que pour le sous-échantillon composé des deux groupes cliniques, la mémoire de travail était corrélée négativement et spécifiquement aux symptômes d'inattention. Ces résultats concordent également avec la méta-analyse de Willcut, Doyle et al. (2005) effectuée auprès d'enfants d'âge scolaire, qui suggère qu'un déficit global des FE soit plus spécifique aux symptômes d'inattention qu'aux symptômes d'hyperactivité-impulsivité.

Notre étude appuie donc l'hypothèse que le TDAH et les troubles perturbateurs auraient un déficit commun au plan de l'inhibition et appuie également l'hypothèse d'un déficit des FE plus global chez les enfants ayant un TDAH.

Les tests d'inhibition exercent des demandes sur plusieurs régions cérébrales, telles que le cortex cingulaire antérieur (BA 32), le cortex préfrontal dorsolatéral (BA 9, 46), le cortex préfrontal inférieur (BA 44, 45, 47), le cortex pariétal postérieur et l'insula antérieure (Nee et al., 2007). Les études de lésions indiquent pour leur part un

rôle essentiel du cortex préfrontal inférieur droit pour la réussite des tâches de contrôle de l'interférence (Aron et al., 2004). Rubia (2011) a montré dans une impressionnante recension sur la neuroimagerie que le TDAH et le TC étaient des troubles impliquant des dysfonctionnements neurophysiologiques distincts, le TDAH étant associé à un dysfonctionnement fronto-striato-cérébelleux et frontopariétal régulant l'attention et la cognition, tandis que le TC est associé à un dysfonctionnement du système paralimbique incluant le cortex orbitofrontal, le cortex temporal supérieur, et les structures limbiques sous-jacentes ainsi qu'un dysfonctionnement ventromédian frontolimbique. Rubia (2011) mentionne néanmoins que certains dysfonctionnements pourraient être communs aux deux troubles, tels que des dysfonctionnements du circuit ventromédian-limbique, mésolimbique ou du cortex cingulaire antérieur. Un déficit d'inhibition commun au TDAH et aux troubles perturbateurs pourrait ainsi être le reflet d'un tel dysfonctionnement cérébral commun aux deux troubles.

4.3 Implications théoriques et cliniques

4.3.1 Implications théoriques

Les résultats des deux chapitres principaux ont de nombreuses implications théoriques qui furent d'ailleurs exposées séparément dans la section précédente. Nous nous attarderons ici aux implications théoriques possibles de la combinaison des résultats des deux études. La figure 1 illustre les différents liens mis en évidence entre les FE et les autres variables des chapitres II et III.

Premièrement, nous pouvons remarquer que la MT semble entretenir des liens plus spécifiques ou uniques avec certaines variables telles que le rendement en mathématiques et les symptômes de TDAH chez les jeunes enfants. L'association entre la MT et le TDAH apparaît comme un résultat robuste qui s'observe à

différentes étapes du développement humain (Pauli-Pott & Becker, 2011; Willcutt et al., 2005; Hervey, Epstein, & Curry, 2004) . L'association plus spécifique entre la MT et le rendement en mathématiques pourrait être plus spécifique à la période préscolaire, étant donné que les FE en général ont tendance à prédire plus fortement le rendement en lecture-écriture chez les enfants plus âgés. On pourrait alors s'attendre à ce que les enfants d'âge préscolaire présentant un TDAH aient plus de difficulté en mathématiques qu'en lecture-écriture, ce que nous n'avons pas pu vérifier dans notre étude.

Certaines études publiées sur le sujet appuient partiellement cette idée. Dans une recension des écrits, Milich, Balentine et Lynam (2001) expliquent que des chercheurs ont trouvé que les enfants ayant un TDAH ont un rendement scolaire plus faible en général, mais que lorsque les sous-types de TDAH sont pris en compte, les enfants ayant un TDAH de sous-type inattention prédominante (TDAH-I) ont un rendement plus faible en mathématiques. Il semble donc y avoir une interaction plus spécifique dans la triade MT, symptômes d'inattention (ou TDAH-I) et rendement en mathématiques. Cette association entre ces trois variables pourrait être le reflet de dysfonctions neurophysiologiques semblables. Nous avons vu en introduction que la MT est associée plus spécifiquement aux régions préfrontales ventrales droites et que les habiletés de calcul mental impliquent les régions fronto-pariétales (Kucian, et al., 2008). Diamond (2005), dans un article portant sur la comparaison entre le TDAH-I et le TDAH-C (sous-type combiné), suggère que le TDAH-I serait relié à un dysfonctionnement fronto-pariétal, comparativement au TDAH-C, qui serait plutôt le reflet d'un dysfonctionnement fronto-striatal. Ces trois variables pourraient ainsi avoir un lien plus étroit avec le fonctionnement fronto-pariétal.

Pour ce qui est de l'inhibition, nos résultats indiquent que cette composante des FE est en lien à la fois avec le TDAH et avec les troubles perturbateurs, donc possiblement avec les troubles externalisés en général. De plus, l'inhibition s'est

montrée associée au rendement en lecture-écriture de façon indirecte via le niveau d'agressivité-colère, qui est un indicateur de troubles externalisés. La direction de la relation entre l'inhibition et les troubles externalisés ne nous apparaît pas claire. Est-ce que la présence d'un trouble externalisé peut empêcher le développement de l'inhibition cognitive? Au contraire, est-ce qu'un déficit d'inhibition primaire peut être un facteur de risque pour le développement d'un trouble externalisé (possibilité que nous avons explorée précédemment)? Ou encore, est-ce qu'un déficit d'inhibition et un trouble externalisé pourraient être causés par une autre variable ou combinaisons de variables?

Pour ce qui est du TDAH, plusieurs études indiquent qu'il s'agit d'un trouble pour lequel l'aspect génétique joue un rôle important au plan étiologique. Un déficit des FE est habituellement considéré comme une conséquence neuropsychologique du trouble. Par contre, malgré une contribution génétique non-négligeable, des auteurs soulignent que l'environnement semble jouer un rôle plus important dans l'étiologie des troubles perturbateurs (Rhee & Waldman, 2002). Il est donc possible que les facteurs de risques environnementaux précoces (par ex., pauvreté, psychopathologie parentale, manque de sensibilité parentale, manque d'encadrement et de limites, discipline rude, abus ou négligence, etc.) qui entraînent un déficit de la régulation émotionnelle (impulsivité, colère, agressivité, etc.) entravent également le développement de la régulation cognitive, tel que mesuré par des tests d'inhibition. Ces mêmes facteurs de risques environnementaux précoces pourraient aussi limiter le développement des habiletés langagières et ainsi contribuer aux difficultés en lecture-écriture des enfants en début de scolarisation.

La flexibilité cognitive s'est montrée associée à pratiquement aucune variable dans nos deux études, à l'exception d'une faible corrélation avec l'inhibition dans la deuxième étude. Ce résultat ne nous surprend guère pour plusieurs raisons. Premièrement, en ce qui concerne le lien FE-rendement scolaire, la flexibilité est la

composante des FE qui a été le moins souvent associée au rendement scolaire dans les écrits. Deuxièmement, les études publiées à ce jour n'ont pas montré de lien entre les troubles externalisés et la flexibilité cognitive, bien qu'un tel déficit ait été documenté dans d'autres psychopathologies, comme les troubles du spectre de l'autisme (Willcutt, Sonuga-Barke, Nigg, & Sergeant, 2008). Finalement, la façon de mesurer la flexibilité cognitive peut aussi avoir influencé nos résultats. La flexibilité cognitive est probablement la composante des FE la plus difficile à cerner et il n'est pas clair que les différentes façons de la mesurer soient équivalentes. En neuropsychologie, les chercheurs ont tendance à utiliser des tests cliniques reconnus comme étant sensibles à des lésions préfrontales comme le tri de cartes du Wisconsin (*Wisconsin card sorting test*) et le test de traçage de piste (*Trail making test*). En psychologie cognitive, les chercheurs utilisent habituellement des tests de flexibilité de registre (*set/task shifting paradigm*) qui demandent à l'individu de basculer entre deux types de traitements incompatibles sur des stimuli d'une même classe. Nous avons choisi d'utiliser les erreurs de persévération comme mesure de flexibilité, puisque ce type d'erreurs nous semblait un indicateur plus « épuré » de flexibilité qu'un score de temps, qui nous semblait pouvoir être influencé par un plus grand nombre de variables non-exécutives. Le désavantage de ce choix est que les erreurs de persévération ont tendance à se distribuer de façon non-normale, c'est-à-dire avec une asymétrie positive, étant donné qu'une grande proportion d'enfants ne commette pas de telles erreurs. Cette façon d'opérationnaliser la flexibilité cognitive pourrait avoir eu comme effet de réduire la variance et, conséquemment, l'ampleur des corrélations constatées. Aussi, même parmi les tests de flexibilité utilisés en neuropsychologie clinique, une certaine hétérogénéité des processus cognitifs requis par le sujet est observée. Par exemple, chez les enfants ayant un trouble du spectre de l'autisme, un seul lien robuste a été trouvé avec le test du tri de cartes du Wisconsin (Geurts, Corbett, & Solomon, 2009). Il est donc possible qu'en fait la faiblesse des autistes à ce test soit due à d'autres processus cognitifs ou à un type de flexibilité bien

précise. Il nous semble que des recherches plus fondamentales sur le concept de flexibilité cognitive sont requises.

4.3.2 Implications cliniques et évaluation

Les deux études présentées dans cette thèse s'ajoutent à un corpus de recherche qui indique que les FE sont des variables-clés dans le développement cognitif et socioaffectif de l'enfant. Ainsi, les FE sont des composantes qui devraient systématiquement être évaluées lors du bilan neuropsychologique du jeune enfant. Cependant, les cliniciens disposent de très peu d'outils pour évaluer les FE chez les enfants de moins de 6 ans. En effet, pour les enfants d'âge scolaire (6–12 ans), il existe des batteries de tests de FE normés et publiés, notamment le *Delis-Kaplan Executive Function System* (D-KEFS, 8 à 16 ans), le *Behavioural Assessment of the Dysexecutive Syndrome for Children* (BADS-C, 8 à 16 ans), certains sous-tests du Bilan neuropsychologique de l'enfant version I (NEPSY, 3 à 12 ans) et version II (NEPSY-II, 3 à 16 ans) et certains sous-tests du Test d'attention de la vie de tous les jours pour enfants (TEA-Ch, 6 à 16 ans). Les cliniciens disposent cependant de très peu de tests spécialement conçus, validés et normés pour évaluer les fonctions exécutives des enfants de 3 à 6 ans (voir figure 2). Chez les préscolaires, il n'existe pour le moment que les sous-tests statue, inhibition et fluence de dessins de la Nepsy-II, mouvements de mains et Rover du K-ABC-II et finalement le Kiddie-CPT (4-5 ans). Il faut aussi noter que la plupart de ces tests ne sont normés qu'à partir de 5 ans. Nous espérons ainsi que nos travaux puissent inspirer les concepteurs de tests à publier une plus grande variété de tests neuropsychologiques s'adressant aux enfants d'âge préscolaire.

4.3.3 Implications cliniques et intervention

L'association des FE avec le rendement scolaire ultérieur et le fonctionnement socioaffectif en font une cible intéressante au plan de l'intervention précoce. La question de la malléabilité des FE se pose donc. À ce sujet, les écrits peuvent sembler contradictoires. Gathercole & Alloway (2008) suggèrent que la MT est possiblement peu modifiable puisqu'elle n'est pas reliée à la qualité du milieu préscolaire, ni au niveau socioéconomique de la famille. Nos données convergent partiellement dans cette direction, puisque le revenu familial ne corrélait pas avec les trois FE (chapitre III), alors que l'éducation maternelle corrélait avec la MT ($r=.38$, $p<0.01$). Dans le même ordre d'idée, dans une étude de jumeaux utilisant l'analyse factorielle confirmatoire, Friedman et collègues (Friedman et al., 2008) ont conclu que les FE étaient l'un des traits humains les plus hautement héritablement génétiquement.

Cependant, plusieurs autres recherches indiquent que le développement des FE est influencé par des variables environnementales notamment la culture, les enfants asiatiques performant à un niveau plus élevé que les enfants occidentaux (Oh & Lewis, 2008; Sabbagh, Xu, Carlson, Moses & Lee, 2006) et le bilinguisme, les enfants bilingues obtenant de meilleurs scores que les enfants unilingues (Bialystok, 1999; Bialystok & Martin, 2004). Aussi, l'impact néfaste sur le développement des FE d'un environnement précoce peu stimulant commence à être documenté. Par exemple, des déficits importants au plan des FE ont été rapporté chez des enfants adoptés ayant vécu leurs premières années de vie dans des institutions de type orphelinat (Bruce, Tarullo, & Gunnar, 2009; Colvert, et al., 2008). De tels déficits au plan des FE sont aussi observés chez des enfants ayant vécu des traumatismes intra-familiaux tels que l'exposition à la violence conjugale (DePrince, Weinzierl, & Combs, 2009). Certains auteurs ont même obtenu des résultats suggérant que l'ingrédient essentiel au développement des FE en bas âge pourrait être la qualité des interactions parent-enfant (Rhoades, Greenberg, Lanza, & Blair, 2011). Tout comme

pour l'intelligence (Turkheimer, Haley, Waldron, D'Onofrio, & Gottesman, 2003), il est possible que dans des conditions de défavorisation extrême, les FE puissent être grandement affectées par l'environnement, alors que dans des conditions environnementales plus « normatives », l'aspect génétique joue un rôle prédominant.

Étant donné que les FE permettent de prédire le rendement scolaire et le fonctionnement socioaffectif et que les FE semblent modifiables par l'environnement, il semble raisonnable de penser que des interventions précoces ciblant les FE pourraient permettre à des enfants plus vulnérables d'éviter de nombreuses difficultés. Diverses initiatives récentes allant dans ce sens ont déjà été entreprises, avec un certain succès semble-t-il.

Étant donné la présence de déficits des FE chez les enfants ayant un TDAH, des programmes d'entraînement de la MT ont été élaborés. Ce type d'entraînement a montré des effets bénéfiques sur les capacités de MT jusqu'à six mois post-intervention (Holmes, Gathercole, & Dunning, 2009; Holmes et al., 2010). Aussi, différentes équipes de chercheurs ont montré qu'il est possible d'entraîner les FE chez les enfants d'un groupe normatif dans un contexte expérimental et que les gains obtenus étaient transférables à des tâches semblables (*near transfer*) (Karchach & Kray, 2009).

Certains chercheurs proposent des stratégies d'intervention visant à compenser le déficit en modifiant l'environnement de l'enfant. Par exemple, Gathercole & Alloway, (2008) ont publié un chapitre dans lequel ils suggèrent différentes pistes d'intervention afin de minimiser la charge en MT dans un contexte de classe. Ces interventions consistent à : réduire la quantité d'information à retenir, réduire le niveau de nouveauté et augmenter la pertinence de l'information à traiter, simplifier les structures de phrases, diviser les tâches complexes en plus petites parties et rendre disponible et encourager l'utilisation d'aide-mémoire.

D'autres chercheurs proposent des interventions qui peuvent s'intégrer à un programme préscolaire et qui visent à stimuler le développement des FE. Par exemple, Diamond, Barnett, Thomas, & Munro (2007) ont récemment montré qu'un programme préscolaire nommé «*Tool of the mind*» permet d'améliorer les FE chez les enfants d'âge préscolaire. Le programme comprend une quarantaine d'activités stimulant les FE et les enfants participant à ce programme préscolaire ont montré des performances supérieures à différentes épreuves de FE à la fin du programme comparés aux enfants participant à un programme préscolaire régulier. L'étude des interventions permettant de stimuler les FE ou de remédier à des déficits des FE chez les jeunes enfants apparaît alors comme une avenue de recherche prometteuse pour les prochaines années.

4.4 Considérations méthodologiques générales à la recherche

4.4.1 Forces et limites

Les forces de cette étude reposent principalement sur l'effort déployé pour mesurer les FE de façon détaillée, complète et valide. Un autre point fort nous semble la nature multi-informants du devis de recherche, c'est-à-dire que les données recueillies proviennent à la fois des parents, des enseignantes et directement de l'enfant.

L'étude présente aussi des limites, la première étant la petite taille de l'échantillon. L'interprétation des résultats du deuxième article fut aussi limitée par l'absence d'un groupe d'enfants présentant uniquement des symptômes élevés de TDAH, sans comportements perturbateurs. Nous devons aussi mentionner que même dans notre groupe d'enfants ayant un niveau élevé de comportements perturbateurs sans symptômes de TDAH, un certain niveau de symptômes de TDAH était tout de

même présent (voir tableau 1, ch. III). Finalement, une limite importante, mais fréquente dans le domaine des troubles externalisés, est le fait que les familles participantes sont des familles volontaires. Il est fort probable que les familles d'enfants ayant des comportements externalisés désirant participer à une étude diffèrent des familles qui refusent de participer. Cependant, une analyse confirmant cette possibilité n'est pas possible dans cette thèse.

4.4.2 Directions futures

Le lien entre FE et troubles externalisés étant maintenant de mieux en mieux établi, les recherches futures pourraient intégrer dans leur devis l'étude de variables plus pointues en lien avec les comportements externalisés. Par exemple, la distinction entre agression proactive et réactive est peut-être plus pertinente que la distinction entre TC-TOP. Certains chercheurs ont montré que le lien entre FE et comportements agressifs était significatif uniquement dans le cas de l'agression réactive (Giancola, Moss, Martin, Kirisci, & Tarter, 1996) ou encore, uniquement chez les enfants ayant un biais d'attribution hostile (Ellis, Weiss, & Lochman, 2009). Dans le même ordre d'idée, l'inclusion de mesure de traits insensibles-impassibles (*callous-unemotional*), souvent associés aux comportements agressifs proactifs, pourrait nous renseigner sur le développement des conduites agressives graves.

Il serait aussi fort intéressant d'intégrer certains éléments de la personnalité à l'étude du lien FE-comportements externalisés. Par exemple, Nigg, Martel, Nikolopoulos, & Casey, (2010) ont montré que les symptômes d'inattention sont plus reliés à une faible conscience sociale (*low conscientiousness*) et à un niveau élevé de neuroticisme (*neuroticism*), alors que les symptômes d'hyperactivité-impulsivité sont plutôt reliés à un faible niveau d'appréciation (*low agreeableness*) du modèle de la personnalité à cinq facteurs (*Big five*). Ces auteurs suggèrent d'étudier les troubles externalisés en étudiant à la fois la cognition et les variables socio-affectives telles

que la personnalité. Leurs travaux suggèrent que les symptômes d'inattention sont distincts des symptômes du TOP-TC, mais que les deux sont associés à l'hyperactivité-impulsivité. Ces trois catégories de symptômes reflèteraient des niveaux variés de dysfonctionnement cognitif et affectif. Les symptômes d'inattention pourraient correspondre à une dysfonction du contrôle cognitif descendant (*top-down*) reposant sur les circuits préfrontaux; l'hyperactivité-impulsivité pourrait être le reflet d'une activation ascendante (*bottom-up*) excessive d'approche reposant sur le fonctionnement du striatum; et les comportements de TOP-TC pourraient représenter une activation excessive d'affect négatif lié au système limbique. L'inter-influence de ces systèmes neurophysiologiques durant le développement pourrait expliquer la cooccurrence fréquente de ces comportements. L'inclusion de tests mesurant les FE à ce genre d'étude pourrait permettre de mieux comprendre les liens entre cognition et émotion.

Figure 1. Schéma représentant les interrelations entre FE, troubles externalisés et rendement scolaire en fin de première année du primaire. Les lignes en gras indiquent un lien plus spécifique.

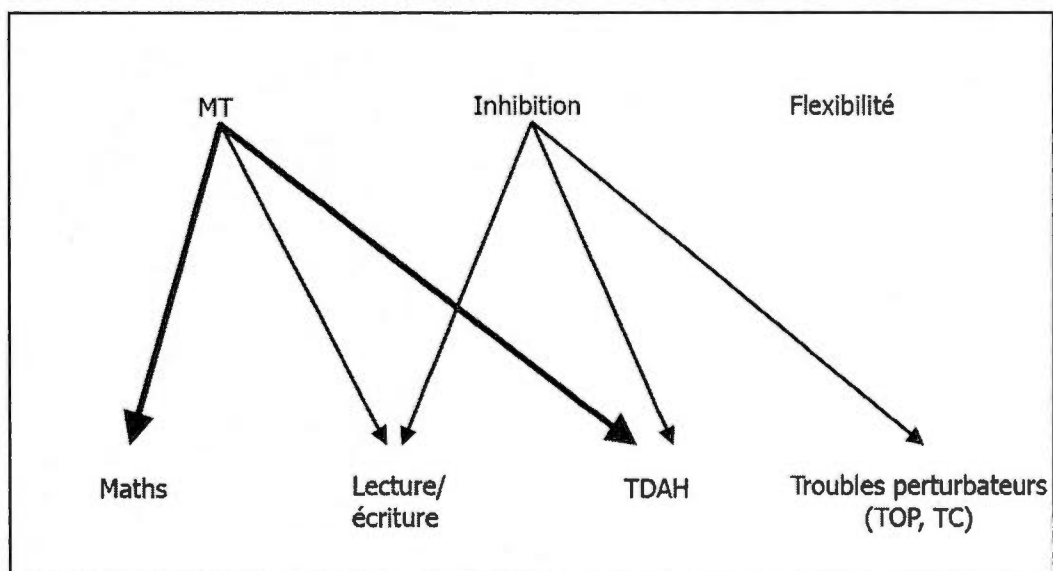


Figure 2. Différentes épreuves de FE disponibles au Québec pour les enfants d'âge préscolaire

3 ans	4 ans	5 ans	6 ans	Composante des FE évaluées (ou autres)
		Statue (N2)		Inhibition (auto-régulation)
		Kiddie-CPT		Inhibition (inhibition motrice), attention soutenue
		Inhibition (N2)		Inhibition (contrôle de l'interférence)
		Fluence de dessins (N2)		Fluidité
		Mouvements de mains (KABC2)		Mémoire à court terme (empan)
		Rover (KABC2)		Planification
			Plusieurs sous-tests du TEA-Ch	Inhibition et plusieurs processus attentionnels

Note. N2, Nepsy second edition; KABC2, Kaufman assessment battery for children second edition; TEA-Ch, Test of everyday attention for children.

4.5 Conclusion générale

La recherche dans le domaine des FE chez les jeunes enfants est actuellement en pleine ébullition. Notre contribution à ces travaux a été de montrer que : 1) les FE sont dissociables dès l'âge de cinq ans, 2) que les FE jouent un rôle direct dans le rendement en mathématiques et un rôle indirect, via le niveau de colère-agression, dans le rendement en lecture-écriture et 3) que les enfants présentant des comportements perturbateurs avec symptômes de TDAH montrent un profil de FE plus déficitaire que les enfants ayant uniquement des comportements perturbateurs. Mis ensemble, ces résultats suggèrent un lien plus spécifique entre les symptômes d'inattention, le rendement en mathématiques et la mémoire de travail chez les enfants en début de scolarisation. L'inhibition pourrait avoir un lien avec les troubles externalisés en général (TDAH, TOP, TC) et être ainsi le reflet d'un dysfonctionnement neurophysiologique commun à ce type de problématique. Diverses recherches ont montré qu'il est possible de modifier les FE, ce qui laisse place à un large champ de recherche portant sur l'intervention précoce permettant de stimuler les FE. Ces données sont d'autant plus pertinentes que le gouvernement du Québec expérimente présentement des programmes de prématernelles dans différentes régions de la province. Étant donné que l'âge des enfants de prématernelle (4 ans) coïncide avec une période charnière au plan du développement des FE, il y a fort à parier que ces programmes pourraient être un terreau fertile pour l'expérimentation d'interventions de ce type.

4.6 Références (introduction et discussion générale)

- Agostino, A., Johnson, J., & Pascual-Leone, J. (2010). Executive functions underlying multiplicative reasoning: Problem type matters. *Journal of Experimental Child Psychology*, 105, 285-305.
- Alloway, T. P., Gathercole, S. E., Willis, C., & Adams, A. M. (2004). A structural analysis of working memory and related cognitive skills in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 85-106.
- Altemeier, L. E., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2008). Executive functions for reading and writing in typical literacy development and dyslexia. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 30, 588 - 606.
- Altemeier, L., Jones, J., Abbott, R. D., & Berninger, V. W. (2006). Executive functions in becoming writing readers and reading writers: Note taking and report writing in third and fifth graders. *Developmental Neuropsychology*, 29, 161 - 173.
- Anderson, V., Levin, H. S., & Jacobs, R. (2002). Executive functions after frontal lobe injury: A developmental perspective. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. Oxford: Oxford university press.
- Archibald, S. J., & Kerns, K. A. (1999). Identification and description of new tests of executive functioning in children. *Child Neuropsychology*, 5, 115-129.
- Ardila, A., Rosselli, M., Matute, E., & Guajardo, S. (2005). The influence of the parents' educational level on the development of executive functions. *Developmental Neuropsychology*, 28, 539-560.
- Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2004). Inhibition and the right inferior frontal cortex. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 170-177.
- Azadi, B., Seddigh, A., Tehrani-Doost, M., Alagband-Rad, J., & Ashrafi, M. (2009). Executive dysfunction in treated phenylketonuric patients. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 18, 360-368.
- Baddeley, A. D., & Hitch, G. J. (1974). Working memory. In G. A. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 8). New-York: Academic Press.
- Banaschewski, T., Brandeis, D., Heinrich, H., Albrecht, B., Brunner, E., & Rothenberger, A. (2003). Association of ADHD and conduct disorder – brain

- electrical evidence for the existence of a distinct subtype. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 44, 356-376.
- Berlin, L., & Bohlin, G. (2002). Response inhibition, hyperactivity, and conduct problems among preschool children. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, 31, 242-251.
- Best, J. R., & Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81, 1641-1660.
- Best, J. R., Miller, P. H., & Jones, L. L. (2009). Executive functions after age 5: Changes and correlates. *Developmental Review*, 29, 180-200.
- Bialystok, E. (1999). Cognitive complexity and attentional control in the bilingual mind. *Child Development*, 70, 636-644.
- Bialystok, E., & Martin, M.M. (2004). Attention and inhibition in bilingual children: Evidence from the dimensional change card sort task. *Developmental Science*, 17, 325-339.
- Blair, C., Granger, D., & Razza, P. (2005). Cortisol reactivity is positively related to executive function in preschool children attending Head Start. *Child Development*, 76, 554-567.
- Blair, C., & Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78, 647-663.
- Brock, L. L., Rimm-Kaufman, S. E., Nathanson, L., & Grimm, K. J. (2009). The contributions of 'hot' and 'cool' executive function to children's academic achievement, learning-related behaviors, and engagement in kindergarten. *Early Childhood Research Quarterly*, 24, 337-349.
- Brocki, K. C., & Bohlin, G. (2004). Executive functions in children aged 6 to 13: A dimensional and developmental study. *Developmental Neuropsychology*, 26, 571-593.
- Brocki, K., Eninger, L., Thorell, L., & Bohlin, G. (2010). Interrelations between executive function and symptoms of hyperactivity/impulsivity and inattention in preschoolers: a two year longitudinal study. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 38, 163-171.

- Brocki, K. C., Nyberg, L., Thorell, L. B., & Bohlin, G. (2007). Early concurrent and longitudinal symptoms of ADHD and ODD: relations to different types of inhibitory control and working memory. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48, 1033-1041.
- Brophy, M., Taylor, E., & Hughes, C. (2002). To go or not to go: inhibitory control in 'hard to manage' children. *Infant and Child Development*, 11, 125-140.
- Bruce, J., Tarullo, A. R., & Gunnar, M. R. (2009). Disinhibited social behavior among internationally adopted children. *Development and Psychopathology*, 21, 157-171.
- Bull, R., Espy, K. A., & Wiebe, S. A. (2008). Short-term memory, working memory, and executive functioning in preschoolers: Longitudinal predictors of mathematical achievement at age 7 years. *Developmental Neuropsychology*, 33, 205 - 228.
- Bull, R., & Scerif, G. (2001). Executive functioning as a predictor of children's mathematical ability: Inhibition, switching, and working memory. *Developmental Neuropsychology*, 19, 273-293.
- Calkins, S. D., & Marcovitch, S. (2010). Emotion regulation and executive functioning in early development: integrated mechanisms of control supporting adaptative functioning. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: at the intersection of emotion and cognition* (pp. 37-58). Washington: APA.
- Campbell, S. B. (1995). Behavior problems in preschool children: A review of recent research. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 36, 113-149.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28, 595-616.
- Carlson, S. M., & Moses, L. J. (2001). Individual differences in inhibitory control and children's theory of mind. *Child Development*, 72, 1032-1053.
- Carlson, S. M., Moses, L. J., & Breton, C. (2002). How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory. *Infant and Child Development*, 11, 73-92.
- Chevalier, N. (2010) Les fonctions exécutives chez l'enfant: concepts et développement. *Canadian Psychology/Psychologie Canadienne*, 51, 149-163.

- Clark, C. A. C., Pritchard, V. E., & Woodward, L. J. (2010). Preschool executive functioning abilities predict early mathematics achievement. *Developmental Psychology, 46*, 1176-1191.
- Collette, F., Van der Linden, M., Laureys, S., Delfiore, G., Degueldre, C., Luxen, A., et al. (2005). Exploring the unity and diversity of the neural substrates of executive functioning. *Human Brain Mapping, 25*, 409-423.
- Colvert, E., Rutter, M., Kreppner, J., Beckett, C., Castle, J., Groothues, C., et al. (2008). Do theory of mind and executive function deficits underlie the adverse outcomes associated with profound early deprivation?: Findings from the English and Romanian adoptees study. *Journal of Abnormal Child Psychology, 36*, 1057-1068.
- DePrince, A. P., Weinzierl, K. M., & Combs, M. D. (2009). Executive function performance and trauma exposure in a community sample of children. *Child Abuse & Neglect, 33*, 353-361.
- Diamond, A. (2002). Normal development of prefrontal cortex from birth to young adulthood: Cognitive functions, anatomy, and biochemistry. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function* (pp. 466-503). Oxford: Oxford university press.
- Diamond, A. (2005). Attention-deficit disorder (attention-deficit/ hyperactivity disorder without hyperactivity): A neurobiologically and behaviorally distinct disorder from attention-deficit/hyperactivity disorder (with hyperactivity). *Development and Psychopathology, 17*, 807-825.
- Diamond, A., Barnett, W.S., Thomas, J. & Munro, S. (2007). Preschool program improves cognitive control. *Science, 318*, 1387-1388.
- Dionne, G., Tremblay, R., Boivin, M., Laplante, D., & Périus, D. (2003). Physical aggression and expressive vocabulary in 19-month-old twins. *Developmental Psychology, 39*, 261-273.
- Downer, J. T., & Pianta, R. C. (2006). Academic and cognitive functioning in first grade: Associations with earlier home and child care predictors and with concurrent home and classroom experiences. *School Psychology Review, 35*, 11-30.

- Dowsett, S. M., & Livesey, D. J. (2000). The development of inhibitory control in preschool children: Effects of "executive skills" training. *Developmental Psychobiology*, 36, 161-174.
- Dwyer, S., Nicholson, J., & Battistutta, D. (2006). Parent and teacher identification of children at risk of developing internalizing or externalizing mental health problems: a comparison of screening methods. *Prevention Science*, 7, 343-357.
- Ellis, M., Weiss, B., & Lochman, J. (2009). Executive functions in children: associations with aggressive behavior and appraisal processing. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 37, 945-956.
- Entwisle, D. R., & Hayduk, L. A. (1988). Lasting effects of elementary school. *Sociology of Education*, 61, 147-159.
- Espy, K. A., & Cwik, M. F. (2004). The development of a trail making test in young children: The TRAILS-P. *The Clinical Neuropsychologist*, 18, 411-422.
- Espy, K. A., Kaufmann, P. M., McDiarmid, M. D., & Glisky, M. L. (1999). Executive functioning in preschool children: Performance on A-not-B and other delayed response format tasks. *Brain and Cognition*, 41, 178-199.
- Espy, K. A., McDiarmid, M. D., Cwik, M. F., Stalets, M. M., Hamby, A., & Senn, T. E. (2004). The contribution of executive functions to emergent mathematic skills in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 6, 465-486.
- Fitzgerald, J., & Shanahan, T. (2000). Reading and writing relations and their development. *Educational Psychologist*, 35, 39-50.
- Floyd, R. G., & Kirby, E. A. (2001). Psychometric properties of measures of behavioral inhibition with preschool-age children: Implications for assessment of children at risk for ADHD. *Journal of Attention Disorders*, 5, 79-91.
- Friedman, N. P., & Miyake, A. (2004). The relations among inhibition and interference control functions: A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133, 101-135.
- Friedman, N. P., Miyake, A., Young, S. E., DeFries, J. C., Corley, R. P., & Hewitt, J. K. (2008). Individual differences in executive functions are almost entirely genetic in origin. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137, 201-225.
- Garon, N., Bryson, S. E., & Smith, M. (2008). Executive function in preschoolers: A review using an integrative framework. *Psychological Bulletin*, 134, 31-60.

- Gathercole, S. E., & Alloway, T. P. (2008). Working memory and classroom learning. In S. K. Thurman & C. A. Fiorello (Eds.), *Applied Cognitive Research in K-3 Classroom*. New-York: Taylor and Francis.
- Gerstadt, C. L., Hong, Y. J., & Diamond, A. (1994). The relationship between cognition and action: Performance of children 3 ½ - 7 years old on a Stroop-like day-night test. *Cognition*, 53, 129-153.
- Geurts, H. M., Corbett, B., & Solomon, M. (2009). The paradox of cognitive flexibility in autism. *Trends in Cognitive Sciences*, 13, 74-82.
- Giancola, P. R., Moss, H. B., Martin, C. S., Kirisci, L., & Tarter, R. E. (1996). Executive cognitive functioning predicts reactive aggression in boys at high risk for substance abuse: a prospective study. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 20, 740-744.
- Graziano, P. A., Reavis, R. D., Keane, S. P., & Calkins, S. D. (2007). The role of emotion regulation in children's early academic success. *Journal of School Psychology* 45, 3-19.
- Herba, C. M., Tranah, T., Rubia, K., & Yule, W. (2006). Conduct problems in adolescence: three domains of inhibition and effect of gender. *Developmental Neuropsychology*, 30, 659-695.
- Hervey, A. S., Epstein, J. N., & Curry, J. F. (2004). Neuropsychology of adults with attention-deficit/hyperactivity disorder: A meta-analytic review. *Neuropsychology*, 18, 485-503.
- Holmes, J., Gathercole, S. E., & Dunning, D. L. (2009). Adaptive training leads to sustained enhancement of poor working memory in children. *Developmental Science*, 12, F9-F15
- Holmes, J., Gathercole, S. E., Place, M., Dunning, D. L., Hilton, K. A., & Elliott, J. G. (2010). Working memory deficits can be overcome: Impacts of training and medication on working memory in children with ADHD. *Applied Cognitive Psychology*, 24, 827-836.
- Hongwanishkul, D., Happaney, K. R., Lee, W. S. C., & Zelazo, P. D. (2005). Assessment of hot and cool executive function in young children: Age-related changes and individual differences. *Developmental Neuropsychology*, 28, 617-644.

- Horn, W. F., & Packard, T. (1985). Early identification of learning problems: A meta-analysis. *Journal of Educational Psychology*, 77, 597-607.
- Hooper, S. R., Roberts, J., Sideris, J., Burchinal, M., & Zeisel, S. (2010). Longitudinal predictors of reading and math trajectories through middle school for African American versus Caucasian students across two samples. *Developmental Psychology*, 46, 1018-1029.
- Hughes, C. (1998). Executive function in preschoolers: Links with theory of mind and verbal ability. *British Journal of Developmental Psychology*, 16, 233-253.
- Hughes, C., Dunn, J., & White, A. (1998). Trick or treat ? : Uneven understanding of mind and emotion and executive dysfunction in "hard-to-manage" preschoolers. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 39, 981-994.
- Hughes, C., White, A., Sharpen, J., & Dunn, J. (2000). Antisocial, angry and unsympathetic : 'Hard-to-manage' preschoolers' peer problems and possible cognitive influences. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 41, 169-179.
- Hummer, T., Kronenberger, W., Wang, Y., Dunn, D., Mosier, K., Kalnin, A., et al. (2010). Executive functioning characteristics associated with ADHD comorbidity in adolescents with disruptive behavior disorders. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 39, 1-9.
- Huizinga, M., Dolan, C. V., & van der Molen, M. W. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017-2036.
- Hull, R., Martin, R. C., Beier, M. E., Lane, D., & Hamilton, A. C. (2008). Executive function in older adults: A structural equation modeling approach. *Neuropsychology*, 22, 508-522.
- Jurado, M. B., & Rosselli, M. (2007). The elusive nature of executive functions: a review of our current understanding. *Neuropsychological Review*, 17, 213-233.
- Kalff, A. C., Hendriksen, J. G. M., Kroes, M., Vles, J. S. H., Steyaert, J., Feron, F. J. M., et al. (2002). Neurocognitive performance of 5- and 6-year-old children who met criteria for attention deficit/hyperactivity disorder at 18 months follow-up: results from a prospective population study. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 30, 589-598.
- Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working-memory capacity and the control of attention: The contributions of goal neglect, response competition, and task set

- to Stroop interference. *Journal of Experimental Psychology: General*, 132, 47-70.
- Karbach, J., & Kray, J. (2009). How useful is executive control training? Age differences in near and far transfer of task-switching training. *Developmental Science*, 12, 978-990.
- Kenworthy, L., Yerys, B. E., Anthony, L. G., & Wallace, G. L. (2008). Understanding executive control in autism spectrum disorders in the lab and in the real world. *Neuropsychological Review*, 18, 320-338.
- Klenberg, L., Korkman, M., & Lahti-Nuuttila, P. (2001). Differential development of attention and executive functions in 3- to 12-year-old Finnish children. *Developmental Neuropsychology*, 20, 407-428.
- Konold, T. R., Jamison, K. R., Stanton-Chapman, T. L., & Rimm-Kaufman, S. E. (2010). Relationships among informant based measures of social skills and student achievement: A longitudinal examination of differential effects by sex. *Applied Developmental Science*, 14, 18 - 34.
- Korkman, M., Kirk, U., & Kemp, S. L. (1998). *NEPSY: A developmental neuropsychological assessment*. San Antonio: The Psychological Corporation.
- Kucian, K., von Aster, M., Loenneker, T., Dietrich, T., & Martin, E. (2008). Development of neural networks for exact and approximate calculation: A fMRI study. *Developmental Neuropsychology*, 33, 447-473.
- LaParo, K. M., & Pianta, R. C. (2000). Predicting children's competence in the early school years: A meta-analytic review. *Review of Educational Research*, 70, 443-484.
- Lee, K., Ng, S. F., Ng, E. L., & Lim, Z. Y. (2004). Working memory and literacy as predictors of performance on algebraic word problems. *Journal of Experimental Child Psychology*, 89, 140-158.
- Letho, J. E., Juujarvi, P., Kooistra, L., & Pulkkinen, L. (2003). Dimensions of executive functioning: evidence from children. *British Journal of Developmental Psychology*, 21, 59-80.
- Levin, H. S., Fletcher, J. M., Kufera, J. A., Haward, H., Lilly, M. A., Mendelsohn, D., et al. (1996). Dimensions of cognition measured by the tower of London and other cognitive tasks in head-injured children and adolescents. *Developmental Neuropsychology*, 12, 17-34.

- Levin, H. S., Culhane, K. A., Hartmann, J., Evankovich, K., Mattson, A. J., Harward, H., et al. (1991). Developmental changes in performance on tests of purported frontal lobe functioning. *Developmental Neuropsychology*, 7, 377-395.
- Livesey, D., Keen, J., Rouse, J., & White, F. (2006). The relationship between measures of executive function, motor performance and externalising behaviour in 5- and 6-years-old children. *Human Movement Science*, 25, 50-64.
- Loeber, R., Green, S. M., Lahey, B. B., Frick, P. J., & McBurnett, K. (2000). Findings on disruptive behavior disorders from the first decade of the developmental trends study. *Clinical Child and Family Psychology Review*, 3, 37-60.
- Mäntylä, T., Carelli, M. G., & Forman, H. (2007). Time monitoring and executive functioning in children and adults. *Journal of Experimental Child Psychology*, 96, 1-19.
- Martinussen, R., Hayden, J., Hogg-Johnson, S., & Tannock, R. (2005). A meta-analysis of working memory impairments in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 44, 377-384.
- McAuley, T., & White, D. A. (2011). A latent variables examination of processing speed, response inhibition, and working memory during typical development. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 453-468.
- McClelland, M. M., Cameron, C. E., Connor, C. M., Farris, C. L., Jewkes, A. M., & Morrison, F. J. (2007). Links between behavioral regulation and preschoolers' literacy, vocabulary, and math skills. *Developmental Psychology*, 43, 947-959.
- McNab, F., Leroux, G., Strand, F., Thorell, L., Bergman, S., & Klingberg, T. (2008). Common and unique components of inhibition and working memory: an fMRI, within-subjects investigation. *Neuropsychologia*, 46, 2668-2682.
- Mesulam, M. M. (2002). The human frontal lobes : Transcending the default mode through contingent encoding. In D. T. Stuss & R. T. Knight (Eds.), *Principles of frontal lobe function*. New-York: Oxford University Press.
- Milich, R., Balentine, A. C., & Lynam, D. R. (2001). ADHD combined type and ADHD predominantly inattentive type are distinct and unrelated disorders. *Clinical Psychology: Science and Practice*, 8, 463-488.

- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., & Howerter, A. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex frontal lobes tasks: A latent variables analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49-100.
- Moffit, T. E. (1993). The neuropsychology of conduct disorder. *Development and Psychopathology*, 5, 135-151.
- Morgan, A. B., & Lilienfeld, S. O. (2000). A meta-analytic review of the relation between antisocial behaviour and neuropsychological measures of executive function. *Clinical Psychology Review*, 20, 113-136.
- Moses, L. G., Carlson, S. M., & Sabbagh, M. A. (2005). On the specificity of the relation between executive function and children's theories of mind. In W. Schneider, R. Schumaan-Hengsteler & B. Sodian (Eds.), *Young Children's Cognitive Development* (pp. 131-146). New-Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Müller, U., Liebermann, D., Frye, D., & Zelazo, P. D. (2008). Executive function, school readiness and school achievement. In S. K. Thurman & C. A. Fiorello (Eds.), *Applied cognitive research in K-3 classrooms*. (pp. 41-84). New York: Taylor and Francis.
- Nee, D., Wager, T., & Jonides, J. (2007). Interference resolution: insights from a meta-analysis of neuroimaging tasks. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, 7, 1-17.
- Nigg, J. T. (2000). On inhibition/disinhibition in developmental psychopathology: Views from cognitive and personality psychology and a working inhibition taxonomy. *Psychological Bulletin*, 126, 220-246.
- Nigg, J. T., Martel, M. M., Nikolas, M., & Casey, B. J. (2010). Intersection of emotion and cognition in developmental psychopathology. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: At the intersection of emotion and cognition* (pp. 225-246). Washington: APA.
- Norman, D.A., & Shallice, T. (1980). Attention to action: Willed and automatic control of behavior. Center for human information processing (technical report no 99). (Reprinted in revised form. In R.J. Davidson, G.E. Schartz and Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation. Advances in research*, (1986), 4 (pp 1-18). New York et London: Plenum Press.

- Normandeau, S., & Guay, F. (1998). Preschool behavior and first grade school achievement: The mediational role of cognitive self-control. *Journal of Educational Psychology, 90*, 111-121.
- Oh, S., & Lewis, C. (2008). Korean preschoolers' advanced inhibitory control and its relation to other executive skills and mental state understanding. *Child Development, 79*, 80-89.
- Oosterlaan, J., Logan, G. D., & Sergeant, J. A. (1998). Response inhibition in AD/HD, CD, comorbid AD/HD+CD, anxious, and control children: a meta-analysis of studies with the stop task. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 39*, 411-425.
- Oosterlaan, J., Scheres, A., & Sergeant, J. A. (2005). Which executive functioning deficits are associated with AD/HD, ODD/CD and comorbid AD/HD+ODD/CD? *Journal of Abnormal Child Psychology, 33*, 69-85.
- Passolunghi, M. C., Mammarella, I. C., & Altoè, G. (2008). Cognitive abilities as precursors of the early acquisition of mathematical skills during first through second grades. *Developmental Neuropsychology, 33*, 229-250.
- Pauli-Pott, U., & Becker, K. (2011). Neuropsychological basic deficits in preschoolers at risk for ADHD: A meta-analysis. *Clinical Psychology Review, 31*, 626-637.
- Pellicano, E. (2007). Links between theory of mind and executive function in young children with autism: Clues to developmental primacy. *Developmental Psychology, 43*, 974-990.
- Pennington, B. F., Krasnegor, N. A., Lyon, G. R., & Goldman-Rakic, P. S. (1997). Dimensions of executive functions in normal and abnormal development. In *Development of the prefrontal cortex: Evolution, neurobiology, and behavior*. (pp. 265-281): Baltimore: Paul H Brookes Publishing.
- Pennington, B. F., & Ozonoff, S. (1996). Executive functions and developmental psychopathology. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 37*, 51-87.
- Perner, J., Lang, B., & Kloo, D. (2002). Theory of mind and self-control: More than a common problem of inhibition. *Child Development, 73*, 752-767.
- Raaijmakers, M., Smidts, D., Sergeant, J., Maassen, G., Posthumus, J., van Engeland, H., et al. (2008). Executive functions in preschool children with aggressive

- behavior: impairments in inhibitory control. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36, 1097-1107.
- Randi, J., Newman, T., & Grigorenko, E. (2010). Teaching children with autism to read for meaning: Challenges and possibilities. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 40, 890-902.
- Rasmussen, C. (2005). Executive functioning and working memory in fetal alcohol spectrum disorder. *Alcoholism: Clinical and Experimental Research*, 29, 1359-1367.
- Rasmussen, C., & Bisanz, J. (2005). Representation and working memory in early arithmetic. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91, 137-157.
- Rhee, S. H., & Waldman, I. D. (2002). Genetic and environmental influences on antisocial behavior: A meta-analysis of twin and adoption studies. *Psychological Bulletin*, 128, 490-529.
- Rhoades, B. L., Greenberg, M. T., Lanza, S. T., & Blair, C. (2011). Demographic and familial predictors of early executive function development: Contribution of a person-centered perspective. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 638-662.
- Roth, R. M., Randolph, J. J., Koven, N. S., & Isquith, P. K. (2006). Neural substrate of executive functions: Insight from functional neuroimaging. In J. R. Dupri (Ed.), *Focus on neuropsychology research*. New-York: Nova Science Publishers.
- Rubia, K. (2011). "Cool" inferior frontostriatal dysfunction in attention-deficit/hyperactivity disorder versus "hot" ventromedial orbitofrontal-limbic dysfunction in conduct disorder: A review. *Biological Psychiatry*, 69, 69-87.
- Sabbagh, M. A., Moses, L.J., & Shiverick, S. (2006). Executive functioning and preschoolers' understanding of false beliefs, false photographs, and false sign. *Child Development*, 77, 1034-1049.
- Sabbagh, M. A., Xu, F., Carlson, S. M., Moses, L. J., & Lee, K. (2006). The development of executive functioning and theory of mind. *Psychological Science*, 17, 74-81.
- Séguin, J. R. (2004). Neurocognitive elements of antisocial behavior: relevance of an orbitofrontal cortex account. *Brain and Cognition*, 55, 185-197.

- Séguin, J. R., Boulerice, B., Tremblay, R. E., & Pihl, R. O. (1999). Executive functions and physical aggression after controlling for attention deficit hyperactivity disorder, general memory, and IQ. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 40, 1197-1208.
- Sergeant, J. A., Geurts, H., & Oosterlaan, J. (2002). How specific is a deficit of executive functioning for attention-deficit/hyperactivity disorder? *Behavioural Brain Research*, 130, 3-28.
- Shaywitz, B. A., Lyon, G. R., & Shaywitz, S. E. (2006). The role of functional magnetic resonance imaging in understanding reading and dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 30, 613-632.
- Simpson, A., Riggs, K. J., & Simon, M. (2004). What makes the window task difficult for young children: Rule inference or rule use? *Journal of Experimental Child Psychology*, 87, 155-170.
- Sonuga-Barke, E. J. S., Dalen, L., & Remington, B. (2003). Do executive deficits and delay aversion make independent contributions to preschool attention-deficit/hyperactivity disorder symptoms? *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 42, 1335-1342.
- St Clair-Thompson, H. L., & Gathercole, S. E. (2009). Executive functions and achievements in school: Shifting, updating, inhibition, and working memory. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 745-759.
- Stevens, S. E., Sonuga-Barke, E. J. S., Kreppner, J. M., Beckett, C., Castle, J., Colvert, E., et al. (2008). Inattention/overactivity following early severe institutional deprivation: Presentation and associations in early adolescence. *Journal of Abnormal Child Psychology*, 36, 385-398.
- Stevenson, J. (1996). Developmental changes in the mechanisms linking language disabilities and behaviour disorders. In J. H. Beitchman, N. Cohen, M. M. Konstanterreas, & R. Tannock (Eds.), *Language, learning and behavior disorders* (pp. 78-99). Cambridge: Cambridge University Press.
- Taylor, H. G., Schatschneider, C., Petrill, S., Barry, C. T., & Owens, C. (1996). Executive function in children with early brain disease: Outcomes post *haemophilus influenzae* meningitis. *Developmental Neuropsychology*, 12, 35-51.

- Thorell, L. B., & Wåhlstedt, C. (2006). Executive functioning deficits in relation to symptoms of ADHD and/or ODD in preschool children. *Infant and Child Development, 15*, 503-518.
- Toupin, J., Déry, M., Pauzé, R., Mercier, H., & Fortin, L. (2000). Cognitive and familial contributions to conduct disorder in children. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 41*, 333-344.
- Trzesniewski, K. H., Moffitt, T. E., Caspi, A., Taylor, A., & Maughan, B. (2006). Revisiting the association between reading achievement and antisocial behavior: New evidence of an environmental explanation from a twin study. *Child Development, 77*, 72-88.
- Turkheimer, E., Haley, A., Waldron, M., D'Onofrio, B., & Gottesman, I. I. (2003). Socioeconomic Status Modifies Heritability of IQ in Young Children. *Psychological Science, 14*, 623-628.
- van der Sluis, S., de Jong, P. F., & van der Leij, A. (2007). Executive functioning in children, and its relations with reasoning, reading, and arithmetic. *Intelligence, 35*, 427-449.
- Venet, M., Normandeau, S., Letarte, M.-J., & Bigras, M. (2003). Mesure et évaluation: Les propriétés psychométriques du Lollipop [Measurement and evaluation: The psychometric properties of the Lollipop Test]. *Revue de Psychoéducation, 32*, 165-176.
- Waber, D. P., Gerber, E. B., Turcios, V. Y., Wagner, E. R., & Forbes, P. W. (2006). Executive functions and performance on high-stakes testing in children from urban schools. *Developmental Neuropsychology, 29*, 459-477.
- Wager, T. D., Jonides, J., & Reading, S. (2004). Neuroimaging studies of shifting attention: A meta-analysis. *NeuroImage, 22*, 1679-1693.
- Wager, T., & Smith, E. (2003). Neuroimaging studies of working memory. *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience, 3*, 255-274.
- Wellman, H. M., Cross, D., & Watson, J. (2001). Meta-analysis of a theory-of-mind development: The truth about false belief. *Child Development, 72*, 655-684.
- Welsh, M. C., Pennington, B. F., & Groisser, D. B. (1991). A normative-developmental study of executive function: A window on prefrontal function in children. *Developmental Neuropsychology, 7*, 131-149.

- Wiebe, S. A., Espy, K. A., & Charack, D. (2008). Using confirmatory analysis to understand executive control in preschool children: I. Latent structure. *Developmental Neuropsychology*, 44, 575-587.
- Wiebe, S. A., Sheffield, T., Nelson, J. M., Clark, C. A. C., Chevalier, N., & Espy, K. A. (2010). The structure of executive function in 3-year-olds. *Journal of Experimental Child Psychology*, 108, 436-452.
- Willcutt, E.G., Doyle, A.E., Nigg, J.T., Faraone, S.V., & Pennington, B.F. (2005). Validity of the executive function theory of attention deficit/hyperactivity disorder: a meta-analytic review. *Biological Psychiatry*, 57, 1336-1346.
- Willcutt, E. G., Pennington, B. F., Olson, R. K., Chhabildas, N., & Hulslander, J. (2005). Neuropsychological analyses of comorbidity between reading disability and attention deficit hyperactivity disorder: In search of the common deficit. *Developmental Neuropsychology*, 27, 35 - 78.
- Willcutt, E., Sonuga-Barke, E., Nigg, J., & Sergeant, J. (2008) Recent developments in neuropsychological models of childhood psychiatric disorders. *Advance in Biological Psychiatry*, 24,195-226.
- Wolfe, C. D., & Bell, M. A. (2004). Working memory and inhibitory control in early childhood: Contributions from physiology, temperament, and language. *Developmental Psychobiology*, 44, 68-83.
- Zelazo, P. D., & Muller, U. (2002). Executive function in typical and atypical development. In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 445-469). Malden: Blackwell publishing.
- Zelazo, P. D., Qu, L., & Kesek, A. C. (2010). Hot executive function: Emotion and the development of cognitive control. In S. D. Calkins & M. A. Bell (Eds.), *Child development: At the intersection of emotion and cognition* (pp. 97-112). Washington: APA.

ANNEXE A

LETTRE DE L'ÉDITEUR CONFIRMANT L'ACCEPTATION DE L'ARTICLE 1

NOM DE LA REVUE : Journal of Experimental Child Psychology

NOM DES ÉDITEURS : David F. Bjorklund, Editor

TITRE DE L'ARTICLE: "The Role of the Executive Functions in School
Achievement at the End of Grade 1" (Monette,
Bigras & Guay) (JEC-P-D-10-00174)

DATE DE SOUMISSION: 12 Juillet 2010

DATE DE SOUMISSION 2: 18 janvier 2011

DATE D'ACCEPTATION: 24 février 2011

Ms. Ref. No.: JEC-P-D-10-00174R2

Title: The Role of the Executive Functions in School Achievement at the End of Grade 1

Journal of Experimental Child Psychology

Dear Mr. Sebastien Monette,

I have read the revision of your manuscript, and I am pleased to inform you that your paper "The Role of the Executive Functions in School Achievement at the End of Grade 1" has been accepted for publication in Journal of Experimental Child Psychology.

Congratulations on an excellent piece of research. I look forward to seeing the article in print and I hope you will continue to consider JEC-P as an outlet for your work.

Yours sincerely,

David F. Bjorklund

Editor

Journal of Experimental Child Psychology

For further assistance, please visit our customer support site at <http://epsupport.elsevier.com>. Here you can search for solutions on a range of topics, find answers to frequently asked questions and learn more about EES via interactive tutorials. You will also find our 24/7 support contact details should you need any further assistance from one of our customer support representatives.

ANNEXE B

LETTRE DE L'ÉDITEUR CONFIRMANT LA SOUMISSION DE L'ARTICLE 2

NOM DE LA REVUE : Journal of Child Psychology and Psychiatry

NOM DES ÉDITEURS : Dr. Edmund Sonuga-Barke

TITRE DE L'ARTICLE: " Executive Functions in Kindergarteners with
High Levels of Disruptive Behaviors" (Monette,
Bigras & Guay)

DATE DE SOUMISSION: 10 octobre 2011

Dear Mr. Sebastien Monette

This is an automated acknowledgement

Thank you for submitting your paper to either the Journal of Child Psychology and Psychiatry (JCPP) or Child and Adolescent Mental Health (CAMH) - the prefix in the reference number denotes which journal you have submitted to.

The Journal of Child Psychology and Psychiatry has a limit of 6000 words for original articles. This length includes title page, abstract, references, tables and figures. Tables and figures should be limited to 5 or fewer double-spaced manuscript pages.

Child and Adolescent Mental Health has a word limit of 5500 words for original articles. This length includes all tables and figures. Papers for the Innovations In Practice section should not exceed 2500 words, including references.

Manuscripts exceeding these word limits will not be considered for publication by either journal without permission from the Editor. Therefore, if your paper is over the limit, please email a shortened version to the Journal office (suado.nur@acamh.org.uk) and the revised version will be uploaded for you. Please do not try to resubmit yourself.

If the paper has been commissioned, word restrictions will have been specified at the time of the invitation and the above will not necessarily apply.

We trust that authors of all submissions have read our Notes to Contributors and are aware that you should inform the Editors at the time of submission if you have either published, or have in preparation, any other papers based on the same data set. (If this is the case, and you have not already done so, please send full details of your other publications as soon as possible so that your paper can go forward to the editorial process without delay.)

When your paper has been through our normal refereeing process, the Joint Editor who is processing your paper will be in touch; this normally takes 12-14 weeks. You can log back onto your system and access your Author Centre at any time to check the progress of your paper.

Thank you for submitting your work to JCPP or CAMH.

Yours sincerely,

Piers Allen - JCPP/CAMH Editorial Office Contact

Publications/Editorial Office

ACAMH, St Saviour's House, 39/41 Union St, London SE1 1SD, UK

Tel 020 7403 7458

Fax 020 7403 7081